

Étude de l'apport de paramètres de radiomics dans le développement et la validation de modèles prédictifs de risques de pneumothorax après biopsie pulmonaire percutanée

Mathieu Di Bisceglie

▶ **To cite this version:**

Mathieu Di Bisceglie. Étude de l'apport de paramètres de radiomics dans le développement et la validation de modèles prédictifs de risques de pneumothorax après biopsie pulmonaire percutanée. Sciences du Vivant [q-bio]. 2021. dumas-03408794

HAL Id: dumas-03408794

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03408794

Submitted on 29 Oct 2021

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

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

Faculté des sciences médicales et paramédicales
Aix*Marseille Université

Etude de l'apport de paramètres de radiomics dans le développement et la validation de modèles prédictifs de risques de pneumothorax après biopsie pulmonaire percutanée

T H È S E

Présentée et publiquement soutenue devant

LA FACULTÉ DES SCIENCES MÉDICALES ET PARAMÉDICALES

DE MARSEILLE

Le 12 Octobre 2021

Par Monsieur Mathieu DI BISCEGLIE

Né le 28 juin 1991 à Bourgoin-Jallieu (38)

Pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

D.E.S. de RADIODIAGNOSTIC ET IMAGERIE MÉDICALE

Membres du Jury de la Thèse :

Madame le Professeur CHAUMOITRE Kathia	**Président**
Monsieur le Professeur BARTOLI Jean-Michel	**Assesseur**
Monsieur le Professeur VIDAL Vincent	**Assesseur**
Monsieur le Professeur GAUBERT Jean-Yves	**Assesseur**
Monsieur le Docteur IZAARYENE Jean-Jalal	**Directeur**

Faculté des sciences médicales et paramédicales
Aix*Marseille Université

Etude de l'apport de paramètres de radiomics dans le développement et la validation de modèles prédictifs de risques de pneumothorax après biopsie pulmonaire percutanée

T H È S E

Présentée et publiquement soutenue devant

LA FACULTÉ DES SCIENCES MÉDICALES ET PARAMÉDICALES

DE MARSEILLE

Le 12 Octobre 2021

Par Monsieur Mathieu DI BISCEGLIE

Né le 28 juin 1991 à Bourgoin-Jallieu (38)

Pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

D.E.S. de RADIODIAGNOSTIC ET IMAGERIE MÉDICALE

Membres du Jury de la Thèse :

Madame le Professeur CHAUMOITRE Kathia	**Président**
Monsieur le Professeur BARTOLI Jean-Michel	**Assesseur**
Monsieur le Professeur VIDAL Vincent	**Assesseur**
Monsieur le Professeur GAUBERT Jean-Yves	**Assesseur**
Monsieur le Docteur IZAARYENE Jean-Jalal	**Directeur**

Faculté des sciences médicales et paramédicales
Aix*Marseille Université

FACULTÉ DES SCIENCES MÉDICALES & PARAMÉDICALES

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

Assesseurs :

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

Chargés de mission :

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

ÉCOLE DE MEDECINE

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

Chargés de mission

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

Faculté des sciences
médicales et paramédicales
Aix*Marseille Université

ÉCOLE DE DE MAIEUTIQUE

Directrice : **Madame Carole ZAKARIAN**

Chargés de mission

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

ÉCOLE DES SCIENCES DE LA RÉADAPTATION

Directeur : **Monsieur Philippe SAUVAGEON**

Chargés de mission

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

ÉCOLE DES SCIENCES INFIRMIERES

Directeur : **Monsieur Sébastien COLSON**

Chargés de mission

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

PROFESSEURS HONORAIRES

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

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

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

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

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

VANUXEM Paul
VERVLOET Daniel
VIALETTES Bernard
WEILLER Pierre-Jean

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

EMERITAT

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

2015

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

2016

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

2017

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

2018

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

2019

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

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

2020

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

Honoris causa

1967

MM. les Professeurs — DADI (Italie)
CID DOS SANTOS (Portugal)

1974

MM. les Professeurs — MAC ILWAIN (Grande-Bretagne)
T.A. LAMBO (Suisse)

1975

MM. les Professeurs — O. SWENSON (U.S.A.)
Lord J.WALTON of DETCHANT (Grande-Bretagne)

1976

MM. les Professeurs — P. FRANCHIMONT (Belgique)
Z.J. BOWERS (U.S.A.)

1977

MM. les Professeurs — C. GAJDUSEK-Prix Nobel (U.S.A.)
C.GIBBS (U.S.A.)
J. DACIE (Grande-Bretagne)

1978

M. le Président — F. HOUPHOUET-BOIGNY (Côte d'Ivoire)

1980

MM. les Professeurs — A. MARGULIS (U.S.A.)
R.D. ADAMS (U.S.A.)

1981

MM. les Professeurs — H. RAPPAPORT (U.S.A.)
M. SCHOU (Danemark)
M. AMENT (U.S.A.)
Sir A. HUXLEY (Grande-Bretagne)
S. REFSUM (Norvège)

1982

M. le Professeur — W.H. HENDREN (U.S.A.)

1985

MM. les Professeurs — S. MASSRY (U.S.A.)
KLINSMANN (R.D.A.)

1986

MM. les Professeurs — E. MIHICH (U.S.A.)
T. MUNSAT (U.S.A.)
LIANA BOLIS (Suisse)
L.P. ROWLAND (U.S.A.)

1987

M. le Professeur — P.J. DYCK (U.S.A.)

1988

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

1989

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

1990

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

1991

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

1992

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

1994

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

1995

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

1997

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

1998

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

1999

MM. les Professeurs — J. BOTELLA LLUSIA (Espagne)

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

PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

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

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

PROFESSEUR DES UNIVERSITES

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

PROFESSEUR CERTIFIE

BRANDENBURGER Chantal retraite mars 2021
FRAISSE-MANGIALOMINI Jeanne

PROFESSEUR DES UNIVERSITES ASSOCIE à MI-TEMPS

REVIS Joana

PROFESSEUR DES UNIVERSITES MEDECINE GENERALE

GENTILE Gaëtan

PROFESSEUR ASSOCIE DE MEDECINE GENERALE

GUIDA Pierre

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

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

(mono-appartenants)

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

MAITRE DE CONFERENCES DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE

CASANOVA Ludovic

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES DE MEDECINE GENERALE à MI-TEMPS

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

MAITRE DE CONFERENCES ASSOCIE à MI-TEMPS

BOURRIQUEN Maryline

EVANS-VIALLAT Catherine

LAZZAROTTO Sébastien

LUCAS Guillaume

MATHIEU Marion

MAYENS-RODRIGUES Sandrine

MELLINAS Marie

ROMAN Christophe

TRINQUET Laure

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

ANATOMIE *4201*

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

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

THOLLON Lionel (MCF) (60ème section)

ANATOMIE ET CYTOLOGIE PATHOLOGIQUES *4203*

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

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

ANESTHESIOLOGIE ET REANIMATION CHIRURGICALE ; MEDECINE URGENCE *4801*

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

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

ANGLAIS *11*

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

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

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

ANTHROPOLOGIE *20*

ADALIAN Pascal (PR)

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

BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE ; HYGIENE HOSPITALIERE *4501*

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

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

CHABRIERE Eric (PR) (64ème section)

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

BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLECULAIRE *4401*

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

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

BIOLOGIE CELLULAIRE *4403*

ROLL Patrice (PU-PH)

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

BIOPHYSIQUE ET MEDECINE NUCLEAIRE *4301*

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

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

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

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

BIOSTATISTIQUES, INFORMATIQUE MEDICALE ET TECHNOLOGIES DE COMMUNICATION *4604*

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

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

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

CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE *5002*

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

CANCEROLOGIE : RADIOTHERAPIE *4702*

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

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

CARDIOLOGIE *5102*

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

CHIRURGIE VISCERALE ET DIGESTIVE *5202*

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

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

CHIRURGIE INFANTILE *5402*

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

CHIRURGIE MAXILLO-FACIALE ET STOMATOLOGIE *5503*

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

FOLETTI Jean-Marc (MCU-PH)

CHIRURGIE THORACIQUE ET CARDIOVASCULAIRE *5103*

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

CHIRURGIE VASCULAIRE ; MEDECINE VASCULAIRE *5104*

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

HISTOLOGIE, EMBRYOLOGIE ET CYTOGENETIQUE *4202*

LEPIDI Hubert (PU-PH)

PAULMYER/LACROIX Odile (MCU-PH)

DERMATOLOGIE - VENEREOLOGIE *5003*

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

DUSI

COLSON Sébastien (MCF)

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

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

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

CHIRURGIE PLASTIQUE, RECONSTRUCTRICE ET ESTHETIQUE ; BRÛLOLOGIE *5004*

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

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

GASTROENTEROLOGIE ; HEPATOLOGIE ; ADDICTOLOGIE *5201*

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

GONZALEZ Jean-Michel (MCU-PH)

GENETIQUE *4704*

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

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

GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE ; GYNECOLOGIE MEDICALE *5403*

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

EPIDEMIOLOGIE, ECONOMIE DE LA SANTE ET PREVENTION *4601*

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

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

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

HEMATOLOGIE ; TRANSFUSION *4701*

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

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

POGGI Marjorie (MCF) (64ème section)

IMMUNOLOGIE *4703*

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

FERON François (PR) (69ème section)

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

MALADIES INFECTIEUSES ; MALADIES TROPICALES *4503*

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

ELDIN Carole (MCU-PH)

MEDECINE D'URGENCE *4805*

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

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

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

BENYAMINE Audrey (MCU-PH)

MEDECINE LEGALE ET DROIT DE LA SANTE *4603*

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

TUCHTAN-TORRENTS Lucile (MCU-PH)

BERLAND Caroline (MCF) (1ère section)

MEDECINE PHYSIQUE ET DE READAPTATION *4905*

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

MEDECINE ET SANTE AU TRAVAIL *4602*

LEHUCHER/MICHEL Marie-Pascale (PU-PH)

SARI/MINODIER Irène (MCU-PH)

MEDECINE GENERALE *5303*

GENTILE Gaëtan (PR Méd. Gén. Temps plein)

CASANOVA Ludovic (MCF Méd. Gén. Temps plein)

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

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

NUTRITION *4404*

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

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

MARANINCHI Marie (MCF) (66ème section)

ONCOLOGIE 65 (BIOLOGIE CELLULAIRE)

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

OPHTALMOLOGIE *5502*

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

OTO-RHINO-LARYNGOLOGIE *5501*

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

RADULESCO Thomas (MCU-PH)

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

NEPHROLOGIE *5203*

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

ROBERT Thomas (MCU-PH)

NEUROCHIRURGIE *4902*

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

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

NEUROLOGIE *4901*

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

MAAROUF Adil (MCU-PH)

PEDOPSYCHIATRIE; ADDICTOLOGIE *4904*

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

GUIVARCH Jokthan (MCU-PH)

PHARMACOLOGIE FONDAMENTALE - PHARMACOLOGIE CLINIQUE; ADDICTOLOGIE *4803*

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

BOULAMERY Audrey (MCU-PH)

PARASITOLOGIE ET MYCOLOGIE *4502*

RANQUE Stéphane (PU-PH)

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

PEDIATRIE *5401*

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

TOSELLO Barthélémy (MCU-PH)

PSYCHIATRIE D'ADULTES ; ADDICTOLOGIE *4903*

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

CERMOLACCE Michel (MCU-PH)

PSYCHOLOGIE - PSYCHOLOGIE CLINIQUE, PCYCHOLOGIE SOCIALE *16*

AGHABABIAN Valérie (PR)

LAZZAROTTO Sébastien (MAST)

RADIOLOGIE ET IMAGERIE MEDICALE *4302*

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

STELLMANN Jan-Patrick (MCU-PH)

REANIMATION MEDICALE ; MEDECINE URGENCE *4802*

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

HRAIECH Sami (MCU-PH)

PHILOSOPHIE *17*

LE COZ Pierre (PR) (17ème section)

MATHIEU Marion (MAST)

PHYSIOLOGIE *4402*

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

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

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

PNEUMOLOGIE; ADDICTOLOGIE *5101*

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

GREILLIER Laurent (PU PH)
REYNAUD/GAUBERT Martine (PU-PH)

TOMASINI Pascale (MCU-PH)

RHUMATOLOGIE *5001*

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

THERAPEUTIQUE; MEDECINE D'URGENCE; ADDICTOLOGIE *4804*

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

DAUMAS Aurélie (MCU-PH)

UROLOGIE *5204*

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

Remerciements

A Madame le Professeur Kathia Chaumoitre,
Pour me faire l'honneur de présider ce jury de thèse.
Pour m'avoir accordé votre confiance pour le poste d'assistant dans votre service, et pour l'ensemble des travaux réalisés jusqu'à maintenant. Pour me donner l'opportunité de rejoindre une équipe et un service alliant, à l'image de la Cheffe que vous êtes, compétence et bienveillance. Pour votre disponibilité, votre sens de l'équipe et du compromis.
C'est avec un enthousiasme immense et avec hâte que j'espère vous rendre cette confiance du mieux que je le pourrai.

A Monsieur le Professeur Jean-Michel Bartoli,
Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter d'évaluer ce travail de thèse.
Pour m'avoir donné l'opportunité de côtoyer l'excellence au quotidien.
Parce que c'est dans votre service que j'ai connu mes premières expériences de radiologie et décidé de faire mon remord, découvrant une spécialité passionnante et tellement enrichissante, et des personnes d'exception telles que vous. Je vous en remercie.

A Monsieur le Professeur Vincent Vidal,
Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter d'évaluer ce travail de thèse.
Pour m'avoir accueilli au labo et m'avoir donné la chance de travailler sur des projets aussi innovants qu'importants. Parce que tu me fais partager tes idées novatrices et ton enthousiasme à toute épreuve. Même lorsque les choses ne se déroulent pas comme prévu, tu arrives à y voir une opportunité. Pour ta disponibilité et la confiance.

A Monsieur le Professeur Jean-Yves GAUBERT,
Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter d'évaluer ce travail de thèse.
Ton expertise sur le sujet est une immense chance pour l'évaluation de ce travail. Ce thème, alliant modèle prédictif et radiomiques, n'est à n'en pas douter d'une grande importance pour les années à venir, et tes conseils seront précieux.
Pour ta disponibilité et ta bienveillance. Et parce que cela a toujours été un réel plaisir de travailler à tes côtés.

A Monsieur le Docteur Jalal-Jean IZAARYENE,
Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de diriger cette thèse, et pour ton aide précieuse dans la réalisation de ce travail.
Pour ce que tu m'as apporté tant sur le plan humain que professionnel, pour ton enseignement pendant les quelques mois où j'ai appris à tes côtés, dans ce service de l'Institut Paoli Calmettes qui allie, à ton image, compétence et humanité. Tu prouves à chaque instant que l'on peut être un grand Médecin et une belle Personne. Pour que ce travail ne soit pas l'aboutissement mais la base d'une collaboration fructueuse future.

A tous les médecins que j'ai pu côtoyer au cours de ma formation, en stage ou en garde, externe ou interne, à l'hôpital ou ailleurs. Vous avez été d'une façon ou d'une autre, tour à tour, des modèles pour moi, et je suis aujourd'hui une petite part de chaque chose que vous m'avez transmis.

A mes parents,
Maman, je ne pourrai jamais te remercier assez de tout ce que tu as fait pour moi. Tu m'as toujours poussé à aller le plus loin possible, tu nous as toujours placé, avec Mikaël, au centre de tes priorités, et c'est grâce à toi que j'en suis là. Merci.
Papa, pour les courses de côte qu'on allait voir ensemble à Charbonnières, pour ces sorties en vélo/rollers les week-ends à Miribel, les apéro-matchs du dimanche soir. Pour ce soutien que tu m'as apporté ces dernières années. Merci.

A Sandrine, Pour nous avoir fait mettre de l'eau dans notre vin aux deux têtes de bourrique que nous sommes papa et moi au moment où il le fallait. Pour ton soutien inébranlable pendant toutes ces années, pour ta bonne humeur et ta joie de vivre.

A Mikaël, je te remercie mon frère d'avoir mis la musique à fond en pleine nuit pendant ma première année de médecine, tous les OL-OM, toutes les parties de Play, de ping-pong ou de tennis où tu as fait ton mauvais perdant, c'est aussi grâce à tout ça que j'en suis là.

A Céline, pour ton soutien, et ta gentillesse. Je te souhaite beaucoup de réussite pour l'avenir et beaucoup de bonheur. Ps : commence à réfléchir à tes cadeaux de noël et d'anniversaire ;)

A Marraine, pour les étés à Bandol, les parties de rami et les salades de fruits de mer. J'aurais aimé que tu sois là aujourd'hui pour ce moment spécial, mais je suis sûr que d'où tu es, tu es fière de moi.

A mes grands-parents,
Papé Jo et Mamé Colette, pour tous ces étés tellement reposants passés chez vous, pour les pates à la sauce tomate remplies de râpé et les assiettes de fruits devant la télé, pour nos marches à Saint Nizier ou les baignades au Bois Français.
Mamie Eugénie, pour ta gentillesse et ta bienveillance qui me suivent jusqu'à aujourd'hui.
Papi Pierre que je n'oublie pas.

A mes tantes, Tatie Marie-Chantale et Tatie Patricia, toujours pleines d'amour et de gentillesse, à nos parties de belotte qui s'éternisent, et à Serge qui attend tranquillement la fin de la partie. A Tatie Laurence, toujours de bonne humeur quand on se voit, j'espère que tu ne m'en veux pas trop de ne t'avoir jamais accompagné en soirée avec Marlène.
A mes oncles, tontons Jean-Marie et Jean-Luc.

A mes cousines et cousins, Marlène #Colette, Barbara et Camille loin des yeux proches du cœur, Romain, Nicolas et toute la petite famille Parisienne, Jennifer, Olivia et Julia. Sébastien dans nos cœurs à tous.

A la belle-famille, pour votre chaleureux accueil dans la famille Le Gall – Escavi.
Fafa pour ces délicieux repas préparés avec amour et pour avoir conçu une fille aussi exceptionnelle qu'Alexandra ; Philou pour les places au stade, pour l'aide lors des travaux d'appartements, et surtout pour supporter à ma place les appels téléphoniques d'Alex et ses problèmes de terrain de stage ; Céline, pour les petits desserts délicieux qui me font exploser les papilles à chaque bouchée.

Yanis Vivre un an à tes côtés m'a non seulement appris que je n'étais définitivement pas fait pour être en coloc' mais m'a surtout donné un ami fidèle. Même si je ne suis pas toujours dispo pour te le montrer, c'est un réel plaisir de te savoir dans la même ville. Je te souhaite beaucoup de bonheur et de réussite pour la suite.
Tu embrasseras bien évidemment toute la famille Dahel chaleureusement pour moi (notamment ton papa, sans qui je n'aurai peut-être jamais fait radio) et bien sûr Anne Sophie, son influence parisiano-végano-bobo-écologiste (je ne sais pas si dans ma vie j'ai eu à dire pires mots en une seule phrase) te va à ravir =)

Pierre (alias PT) Pour ce qu'on a vécu ensemble, nos discussions qui trainent lorsque l'on est censé courir, nos soirées pizzas-foot (trop peu fréquentes à mon goût), et pour tout ce qu'il nous reste à faire (promis un jour je te suivrai dans tes aventures, ou au moins quelques-unes). Tu sais que je serai toujours là pour toi où que tu sois (notamment pour récupérer ton courrier ou arroser tes plantes pendant que tu risques ta vie à l'autre bout du monde).
Tu embrasseras tes parents, tes sœurs et tes cousines pour moi.

Mathieu (alias Ptit Bol) Pour ta bonne humeur légendaire, tes courbes de Pons, les week-ends dans la Drome. Promis un jour tu l'auras ta raclette ! En ce qui concerne les royalties en revanche, ce n'est pas gagné…
Louise pour arriver à supporter ton mec, et surtout pour ta gentillesse. Le mariage et les petits c'est pour quand ?

Sacha (alias le Hobbit) Pour ton accueil légendaire à chaque fois sur ton canapé (qui me manque tellement), les parties d'échec (même si tu ne me laisses jamais prendre ma revanche), tes qualités de cinéaste incroyables.
Margot Diva de la médecine esthétique Lyonnaise et fan de danse avec les stars, pour ta bonne humeur habituelle.

Jonas Pour ton corps rempli de muscles qui me sont inconnus, pour le son que faisait ton crâne au moment où ma main se posait plus ou moins délicatement dessus, pour tes bonus de P1 et les twix que tu nous récupérais dans les distributeurs de Galien.
Laurene Pour ta gentillesse et pour nos appels lorsque l'on est de garde à Imadis.

Stacoffe Toujours partant pour une discussion en plein milieu de la nuit pour parler politique ou autre, l'homme le plus brillant que je connaisse, hésitant entre une carrière de passion en médecine interne et une carrière lucrative de footballeur sur les stades de la Doua le lundi soir, pour finir finalement chef de file de la radiologie ostéo-articulaire lyonnaise.

Alex Sabbah Pour ton petit esprit corporatiste qui te va si bien. Je te mets quand même après Stacoffe car ne l'oublions pas, tu m'as planté un poignard dans le dos en choisissant dans les derniers instants Yanis plutôt que moi comme parrain à Galien, et en me l'annonçant chez toi un été au bord de ta piscine en mangeant tranquillement un mars glacé.

Cécile Pour les cours de rock ensemble qui ne resteront pas dans les annales mais dans nos mémoires. Je suis encore désolé de t'avoir interdit de fumer dans ma 207cc, je sais que ça te tenait à cœur, mais tu comprends le cuir tout ça faut y prendre soin...

J’espère que tu te régales dans ta vie Savoyarde, et je te souhaite beaucoup de bonheur avec Antoine.

Théo Pour ta bienveillance naturelle et ta capacité à finir les fonds de bouteille avant de rentrer en boite. Même si ta chaine en argent, ton pull Airness et ton bonnet à ponpon au ski ne te prédestinaient pas à un grand avenir, tu as su déjouer tous les pronostics, et je te souhaite beaucoup de réussite pour la suite.

Hergib Fidèle compagnon de route en Amérique du Sud, en Interrail, ou en Islande (le pays des klaxons-moutons), c’est toujours un plaisir de partager ces moments avec toi, j’espère qu’on aura l’occase de se faire un week-end ski à Grenoble bientôt.

Aurel Pour les apéros dentaires mémorables, ta capacité à ne pas boire quand tu es censé faire un cul sec, pour les quelques fois où je t’ai battu en « finale » de poker quand vous êtes venus à Marseille.

Conness, le siège de la 206 te remercie encore. Un vrai régal à chaque fois que l’on se voit, avec ton humour imbattable et ta bonne humeur à toute épreuve (sauf quand tu as le mal des montagnes). Je te souhaite beaucoup de bonheur avec Irina.

Camille Georgette, pour les bons moments confidences en mangeant des sushis.
Greg Collomb-Clerc, pour ta capacité à ingurgiter des McDo, les virées à l’Alp’.
Mehdi, pour ton « voyelle » et ton toast inoubliable.
Charles Shih l’homme aux 50 montres et aux 50 jeunes P1 à ses côtés.
A tout la bande de Galien, les plus vieux et les plus jeunes.

A tous mes co internes, dont j’ai pu apprécier la valeur au cours des différents semestres, et parfois devenus amis.

A la Team-One*,* Clémence depuis la P1, Diane pour nos footings et nos discussions, Antoine et ton anniversaire si particulier, Mathilde O, Camille, Coco et Sylvain, Mathilde V, Isa, Tanina, Kenny, Clara, Maëlle, Hugo …

A ceux qui aiment le pipi, Quentin le chevelu, 1 an de plaisir de travailler à tes côtés et bien plus. Tu embrasseras Karen, Loup et Maxime pour moi. Flomich’ la reine de la sonde vésicale, François « El castrator », Marie, Sadok, Eugénie.

A ceux qui aiment le caca, Quentin (décidément toujours dans les bons coups), Suzanne, Maëliss, Nicolas, Clément.

A la promo radio 2015, Rémi la personne la plus drôle du monde, je te souhaite de gagner à l’Euro-Million, histoire que tu m’en fasses profiter un peu ! Mika et le Castelli, tic et tac, #starfoullah #rolex. Lilia, Firdaouss (un réel plaisir d’avoir été ton co-interne pendant 1 an) et Capucine, les inséparables. Justine, une des premières néo-Marseillaise que j’ai connu (la fameuse coloc d’Endoume de pré-rentrée, une autre époque). Chloé, toujours à l’autre bout du monde, j’espère que tu te régales. Geoffrey pour les régalades que tu m’as procuré à Fifa. Thomas V. pour ton humour pince sans rire, Benoît pour ta gentillesse, Christopher parce que tu es toujours à l’ouest, Asmaa pour ta propension à prendre des vacances quand on est en sous-effectif, Pauline mi-radiologue mi-parapentiste.

A toutes les autres promos, que j'ai cotoyé pendant mes stages et mes gardes, co-internes ou chefs, ou à d'autres occasions,
La Touz' (désolé encore d'avoir renversé de l'ice-tea sur tes magnifiques chaussures en daim) ; François A. Pour la place que tu me réserves au club William, et pour l'aide que tu vas m'apporter pour les IRM cardiaques. Hâte que l'on fasse les biopsies ensemble ; Lisa Pour ton boboïsme légendaire, ton sourire et ta gentillesse. Tu feras des grosses bises à Joseph, et à Karim, je vous souhaite beaucoup de bonheur ; François P. ; Julian ; Alex ; Axel ; Charlotte ; Clémentine (je t'ai rattrapé au nombre d'examens non ?) ; Dara (pour ta capacité de travail et ta gentillesse) ; Laure pour les mois qui nous attendent prochainement ensemble ; Samia ; Paul K. ; Ammar le prince de Dubaï ; Aurélie ; Basile ; Moya ; Alexia parce que c'est aussi grâce à toi que j'ai fait mon remord.
Idir Pour ta joie de vivre et ta gentillesse. Le semestre passé à tes côtés a été une régalade. Je te souhaite que tous tes projets puissent se réaliser.
Ahmed Pour nos débats politiques interminables en garde, que j'ai hâte de refaire quand tu me viendras à Nord (en pleine élection présidentielle, on va se régaler).
Thomas L., co-pilote de rempla, grâce à moi tu seras prêt pour le privé et pour les échos-radios à la chaine tu devrais me remercier. En espérant que le Chiliz monte bien d'ici là.
Matthieu (Dr Graber à un jour près) Interne de radio à mi-temps, joueur de tennis pro le reste du temps, merci pour ton aide précieuse sur chacune de mes échos ostéo-articulaires.
Kawtar (Dr Graber 2) Pour tous les remplas que tu m'as refilé au dernier moment.
Dr Drai, pour tes conseils crypto même si en vrai je comprends la moitié de ce que tu me dis.
Morgane Pour supporter Maxime et sa capacité à ne pas prendre le téléphone de garde.
Antoine P. Parce que ça me fait tellement rire ta façon de bloquer les personnes « indésirables », hâte de te retrouver pendant 6 mois à Nord.
Julien P. Laborantin à tes heures perdues, pour ton soutien moral parce que tmtc.
Antoine M-C Pour ta gentillesse, ta bienveillance et ta motivation.
Arnaud Pour toutes les stories Insta une coupe de champagne à la main, surtout pour ta gentillesse et ta bienveillance.
Farah, pour ta bienveillance et ta gentillesse qui t'honorent.
Margaux R., désolé encore pour l'annonce inopinée à ta sœur, je te souhaite beaucoup de bonheur dans les mois qui viennent.
Louis alors cette vente de l'OM c'est pour quand ? Laurent pour notre complicité ancienne. Benjamin, Baptiste, Antoine M., Clara, Géraldine, Margaux S., Léa, Mathias, Mélanie, Hector, Christelle, Blandine, à tous les autres que je n'oublie pas.

Aux chefs de RI, qui m'auront apporté leur expertise et leurs conseils en stage ou pendant les gardes : Monsieur le Professeur Guy Moulin, pour votre accueil chaleureux, votre expertise et votre bienveillance ; Alexis ; Vincent ; Farouk (pour la chimio qui a fini à la poubelle) ; Paul H. (pour les petits bonus de MOOC) ; Guillaume L. ; PAB ; les NRistes ; et bien sûr Jérôme et Simon les co-nordistes.

A L'équipe de Laveran, Robin, aussi fort en radio qu'à Chess.com, même si je ne suis pas le vrai Mathieu à tes yeux. Charline et Céline pour votre disponibilité, votre gentillesse et la rigueur que vous essayez de m'inculquer ; Pierre-Yves pour les

quelques fois où j'ai pu entrevoir ton humour ; Alban et Yann pour les conseils donnés durant les quelques semaines où l'on s'est côtoyé.

A l'équipe de l'IPC, pour ces 6 mois exceptionnels, Gilles cela a été un immense plaisir d'être interne dans ce service, Nass' et toute sa tribu, Serge pour ta bienveillance et tes qualités professionnelles et humaines, Valeria pour ta bonne humeur inégalable, Pierre la gachette alias Jean-Michel toujours à la recherche d'une maison non ?, Mika, l'équipe du BRIO incroyable, et bien sûr Jean.

A l´hôpital Nord, ma future maison. Jérôme et Simon hâte de vous retrouver à l'angio ; Steph pour tes conseils et idées voyage, ta bonne humeur et ton aide ; David pour tes conseils et ton aide ; Florence et Caroline pour votre bienveillance, Monsieur Panuel pour votre expertise et votre culture.

A l'ensemble des manip' de l'hôpital Nord, du BMT, de l'IPC, de la Conception et de Laveran, sans oublier Nadia, Marie-Jo, Samba.

A l'équipe du foot du mardi soir, qui a pu apprécier mes grandes qualités footballistiques. Comme un signe, je passe ma thèse un mardi soir, en l'honneur de tous mes buts marqués, tous mes dribbles loupés, tous mes buts encaissés.

A l'équipe du Cerimed, pour m'avoir supporté pendant 1 an, et plus. Pauline, pas besoin de renouveler une tirade pour exprimer toute ma gratitude pour tout ce que tu fais, pour ta bonne humeur inégalable et ta gentillesse. Laure pour ta gentillesse, Béa la Pékinoise, Benjamin le boss, et bien sûr tous les autres que je n'oublie pas.

A toute l'équipe du Rotaract, Alain mon coach de golf personnel, promis je vais m'y remettre rapidement pour qu'on puisse enfin jouer sur un vrai parcours et se boire un petit Monaco mérité ! Et toutes mes félicitations à toi et Marina pour le petit Baptiste.
Alisée, Maxime, Bébé Victor, William, Sabrina, Léa, Max et Justine, Laura blonde et Laura brune, et toute l'équipe avec qui j'ai passé plein de bons moments.

Aux amis de lycée, perdus de vue depuis bien trop longtemps mais que je n'oublie pas, Nico bien sûr pour cette année de terminale si particulière, Momo et tes soirées piscine-vin, Floriane, Florine, Mathilde et les autres.
Aux amis d'enfance, les Tetaz et les Carpentier, pour les jours de l'an tous réunis à Corrençon, le tennis ensemble, mon mariage (puis le divorce) avec Solène.
A Madame Proto, finalement j'ai bien fait de tenter médecine.

A toi, Alex
« Pour tout ce que tu m'apportes, parce que tu es parfaite. Sur une échelle de 1 à 10, je t'aime à l'infini » (je ne suis plus très sûr du début…).
Surtout pour ton soutien depuis la soirée IRobot-sushis, pour ta patience et ta faculté à me supporter moi et mes divers tocs, parce que tu me comprends mieux que quiconque. Et toutes les autres raisons qui font que c'est Toi.
Pour tout ce que nous avons à mener ensemble.
A tous nos futurs 30 du mois. Parce que ça ne fait que commencer.

A toutes les personnes que j'ai rencontré dans ma vie et qui m'ont permis d'en arriver là et d'être la personne que je suis devenu.

Table des matières

INTRODUCTION 2

MATÉRIELS ET MÉTHODES 4

POPULATION DE PATIENTS 4
PROCEDURE DE BIOPSIE ET ACQUISITION DES IMAGES SCANOGRAPHIQUES 4
COLLECTE DES DONNEES 6
SEGMENTATION DES TRAJETS BIOPSIQUES ET EXTRACTION DES DONNEES RADIOMIQUES 7
CRITERE D'EVALUATION PRINCIPAL 8
ANALYSE STATISTIQUE 9

RÉSULTATS 11

POPULATION ETUDIEE 11
ANALYSES UNIVARIEES 12
PERFORMANCE DES MODELES : REGRESSION LOGISTIQUE, RESEAU DE NEURONES ARTIFICIELS ET FORETS D'ARBRES DECISIONNELS 14

DISCUSSION 19

CONCLUSION 23

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 24

ANNEXES 29

ABSTRACT 35

RÉSUMÉ 36

INTRODUCTION

La biopsie pulmonaire est une procédure indispensable pour guider la prise en charge thérapeutique des patients présentant un nodule pulmonaire suspect de lésion pulmonaire primitive ou secondaire. Elle peut être réalisée par voie endo-bronchique ou percutanée sous guidage tomodensitométrique (1)(2)(3)(4)(5). La biopsie pulmonaire percutanée guidée par tomodensitométrie (BP-TDM) est l'une des procédures de radiologie interventionnelle les plus fréquemment réalisées. Selon les centres et les habitudes des équipes de radiologie, elle peut être proposée dans le cadre d'une prise en charge en ambulatoire, en hospitalisation de jour ou en courte hospitalisation d'une nuit pour surveillance (5)(6).

L'activité en ambulatoire et en hospitalisation de jour est aujourd'hui largement développée en chirurgie (7)(8), mais sa possibilité et ses applications dans les procédures de radiologie interventionnelle restent cependant peu étudiées.

Les deux complications les plus fréquentes de la BP-TDM sont l'hémorragie alvéolaire et le pneumothorax (Figure 1) (9)(10)(11). Le pneumothorax est une complication courante (environ 25%) qui peut nécessiter la pose d'un drain thoracique (environ 5-7%, soit 1/5 des patients présentant un pneumothorax) en fonction du volume et de la tolérance clinique, nécessitant généralement une hospitalisation d'une voire plusieurs nuits jusqu'au retrait du drain (12)(13). Cependant, il est difficile de prédire la survenue d'un pneumothorax lors d'une BP-TDM. Celle-ci a été largement étudiée, depuis de nombreuses années, et de multiples facteurs de risque ont été avancés (12)(14)(15)(16)(17). Plus récemment, des études ont cherché à développer et évaluer des modèles prédictifs de survenue pneumothorax (18)(19)(20). Ces modèles prédictifs permettent l'identification des patients à haut risque dans l'ensemble de la population et ainsi visent à proposer une prise en charge la plus personnalisée possible à chaque patient, en fonction de leur risque calculé. Une évaluation du risque de pneumothorax *a priori* chez les patients devant subir un BP-TDM pourrait ainsi permettre d'anticiper les conditions de réalisation de celle-ci, les paramètres de surveillance nécessaires pendant le geste, et les ressources matérielles et humaines à prévoir.

La radiomique est un outil récent qui permet l'extraction et l'analyse des données numériques d'imagerie médicale (21)(22)(23). L'analyse de la texture

pulmonaire pourrait apporter des éléments nouveaux pouvant être considérés comme facteurs de risque potentiels de pneumothorax lors d'une BP-TDM. Cet outil a déjà été étudié dans l'analyse du parenchyme pulmonaire, notamment dans le cadre de la quantification de l'emphysème, de la caractérisation des tumeurs et dans l'évaluation de la maladie pulmonaire obstructive chronique (24)(25)(26)(27). Cependant, les données radiomiques n'ont jamais été étudiées en tant que facteurs de risque potentiels de pneumothorax au cours d'une BP-TDM.

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'apport des données radiomiques habituelles et de la radiomique basée sur l'apprentissage automatique dans le développement de modèles prédictifs de pneumothorax immédiat après BP-TDM.

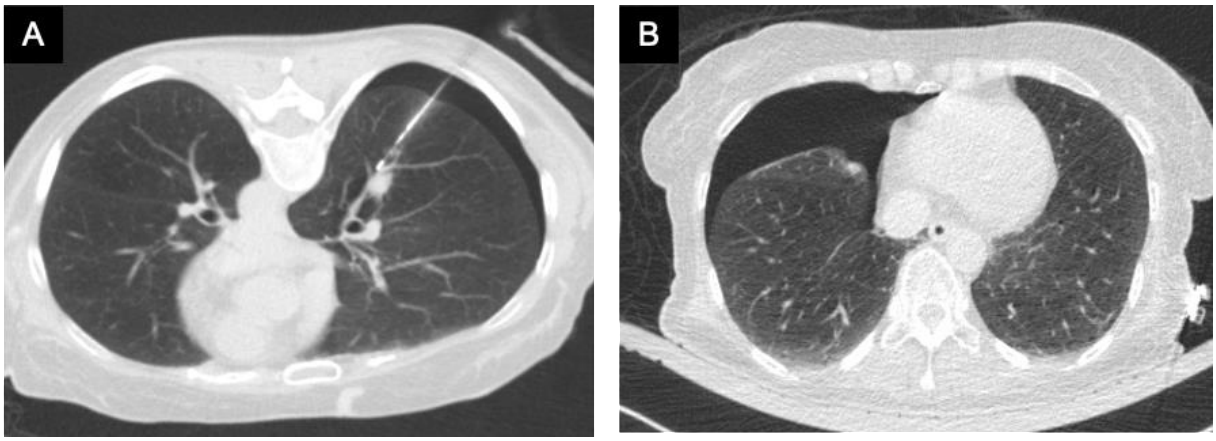


Figure 1. Biopsie d'une nodule pulmonaire gauche par voie percutanée. Patient en procubitus pendant le geste, avec mise en évidence d'un pneumothorax per-interventionnel (A). Le pneumothorax est confirmé, et augmenté de volume sur le contrôle scanographique immédiat post-interventionnel (B). Une évaluation *a priori* du risque de pneumothorax pourrait permettre d'anticiper différents éléments de condition de réalisation et de surveillance du geste dans le but d'améliorer la prise en charge globale du patient.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Population de patients

L'étude a obtenu l'approbation du comité d'éthique de l'établissement et le consentement éclairé écrit a été recueilli pour chaque patient. Cette étude rétrospective monocentrique a été menée dans un centre de lutte contre le cancer (CLCC) entre janvier 2018 et mars 2021. Les patients qui ont subi une BP-TDM ont été inclus de façon successive dans la cohorte au cours de cette période.

Les critères d'inclusion étaient l'âge de plus de 18 ans, une indication de biopsie de lésion nodulaire pulmonaire approuvée au cours d'une réunion de concertation pluri-disciplinaire (RCP), un voltage lors de l'imagerie d'acquisition scanographique initiale de 100kV. Les critères d'exclusion étaient les patients présentant des tumeurs pariétales, pleurales ou osseuses, et les patients dont le protocole d'acquisition mentionnait un voltage différent de 100kV.

Un statisticien a calculé *a priori* la taille de la cohorte nécessaire dans l'objectif de développer et de valider un score prédictif à partir de multiples variables incluant les données radiomiques et basée sur les données de cohortes trouvées dans des études similaires (28).

Procédure de biopsie et acquisition des images scanographiques

La position du patient a été choisie en fonction de la localisation de la lésion nodulaire et du trajet biopsique jugé le plus approprié par l'opérateur. Toutes les procédures ont été réalisées sur un seul scanner qui était uniquement dédié aux procédures de radiologie interventionnelle (Somatom Definition, Siemens Healthineers, Erlangen, Allemagne). Toutes les acquisitions ont été réalisées dans le sens cranio-caudal, avec une couverture (axe z) allant des apex pulmonaires jusqu'aux coupoles diaphragmatiques. Le protocole initial d'acquisition TDM était le même pour toutes les procédures : voltage à 100 kV ; courant à 35mA, collimation 1,2 mm x 32, pas hélicoïdal : 1,2, temps de rotation : 0,5 secondes/rotation, SFOV : 30cm, épaisseur de la coupe : 5mm, intervalle de reconstruction : 5mm, convolution standard du filtre B31f des tissus mous et fenêtre du médiastin. Aucun algorithme de reconstruction itérative n'a été utilisé. Il n'y a pas eu d'injection de produit de contraste

iodé. Les procédures ont été réalisées par sept radiologues différents expérimentés et spécialisés en radiologie interventionnelle oncologique. Les biopsies ont été réalisées sous contrôle TDM avec acquisitions incrémentales 3D permettant de vérifier directement la position de l'aiguille lors de son avancée.

Tous les radiologues ont suivi les mêmes étapes lors de l'exécution de la procédure. Après une désinfection soigneuse de la peau, une anesthésie locale a été administrée à l'aide de 10 ml de lidocaïne 1% jusqu'à la plèvre. Le même matériel d'aiguille à biopsie a été utilisé pour toutes les procédures (3)(4)(29) : co-axial de calibre 17-gauge et pistolet à biopsie de calibre 18-gauge avec une longueur de 10 ou 15 cm en fonction de la distance entre le nodule et le plan cutané. La longueur du stylet biopsique était de 10 ou 20mm en fonction de la taille du nodule et/ou de sa localisation à proximité de structures vasculaires ou bronchiques. Le nombre de prélèvements biopsiques (1, 2 ou 3) était établi en fonction de la qualité des premiers prélèvements, de la taille du nodule, de la difficulté de la procédure et de la tolérance clinique du patient pendant la procédure (douleur, dyspnée, survenue d'un pneumothorax per-interventionnel, d'une hémoptysie ou d'une hémorragie intra-alvéolaire significative). L'ensemble de la procédure a été réalisé sans instructions de blocage de la respiration, le patient devant garder une respiration libre et régulière. À la fin de la procédure, le coaxial a été retiré, en réalisant ou non une technique d'embolisation du trajet biopsique à l'aide d'une mixture d'éponge de gélatine et de produit de contraste iodé (30)(31).

Selon les directives 2010 sur la prise en charge des pathologies pleurales établies par la British Thoracic Society (Annexe 1) (32), il a été décidé d'insérer ou non un drain pleural par voie percutanée en fonction de la présence d'un pneumothorax, de son abondance et de la tolérance clinique du patient. Aucun drainage n'a été réalisé pour les patients sans pneumothorax ou pour les patients présentant un petit pneumothorax (rebord < 2 cm entre les plèvres pariétale et viscérale au niveau du hile). Une exsufflation a été réalisée pour les patients asymptomatiques présentant un pneumothorax plus volumineux (bord > 2 cm entre les plèvres pariétale et viscérale au niveau du hile). Un drain pleural était positionné pour les patients dont l'exsufflation échouait sur le contrôle scanographique réalisé à 5 minutes après exsufflation, ou qui présentaient un pneumothorax important symptomatique. Lorsque la pose du drain pleural était indiquée, ce drain était inséré (drain en queue de cochon de 8,5 French,

Ultrathane Multipurpose Drainage Catheter ; Cook Medical, Bloomington, IN, USA) sous guidage TDM.

Les patients étaient ensuite surveillés dans une unité d'hospitalisation de jour dédiée, en position couchée stricte pendant 3 heures. Les patients pour lesquels un drain pleural a dû être posé étaient hospitalisés en unité d'hospitalisation conventionnelle jusqu'à ce que le drain puisse être retiré et que l'équipe médicale autorise la sortie.

Collecte des données

Les données suivantes ont été extraites de chaque patient : âge, sexe, antécédents de chirurgie pulmonaire homolatérale, position du patient (décubitus dorsal / procubitus / décubitus latéral gauche et droit), durée de la biopsie (estimée par la durée entre la dernière acquisition avant le franchissement de la plèvre et la dernière acquisition TDM), angle d'approche de la plèvre (plus petit angle mesuré entre le co-axial et la plèvre (33)), distance nodule-plèvre le long de la trajectoire de l'aiguille, pourcentage d'emphysème, trajectoire trans-scissurale, grand axe du nodule, présence d'air (excavation) au sein du nodule, technique d'embolisation du trajet biopsique, pneumothorax (oui ou non) et pose d'un drain thoracique (oui ou non).

Deux lecteurs expérimentés ont mesuré les pourcentages d'emphysème pulmonaire sur l'acquisition TDM initiale (paramètres détaillés ci-dessus). Un logiciel de mesure automatique disponible dans le commerce a été utilisé pour la quantification de l'emphysème (Myrian®, Intrasense, Paris, France). Le logiciel a d'abord segmenté les voies aériennes, puis a calculé le pourcentage de voxels avec une valeur égale ou inférieure à -950 UH puis a affiché des cartes de quantification de l'emphysème avec une quantification de l'emphysème pour chaque poumon. La valeur retenue était le pourcentage d'emphysème dans le poumon homolatéral à la biopsie. Une segmentation manuelle était parfois nécessaire pour des ajustements afin d'exclure la trachée ou certaines bronches lobaires, ou lorsque pour des raisons techniques liées au logiciel certaines segmentations automatiques n'étaient pas réalisables.

Segmentation des trajets biopsiques et extraction des données radiomiques

L'étude des données radiomiques a suivi les différentes étapes présentées dans la Figure 2. Les caractéristiques texturales ont été segmentées et extraites à l'aide d'un logiciel à accès libre (*open source*) (LifeX® www.lifexsoft.org ; CEA, Paris, France (34)) par quatre opérateurs expérimentés. Pour identifier le trajet biopsique sur l'imagerie initiale pour chaque patient, l'acquisition de contrôle TDM en fin d'intervention révélant le trajet biopsique final et l'acquisition TDM initiale ont été fusionnées (Figure 3). La segmentation du trajet de biopsie a été effectuée manuellement en traçant une région d'intérêt (ROI) sur l'acquisition initiale pré-interventionnelle.

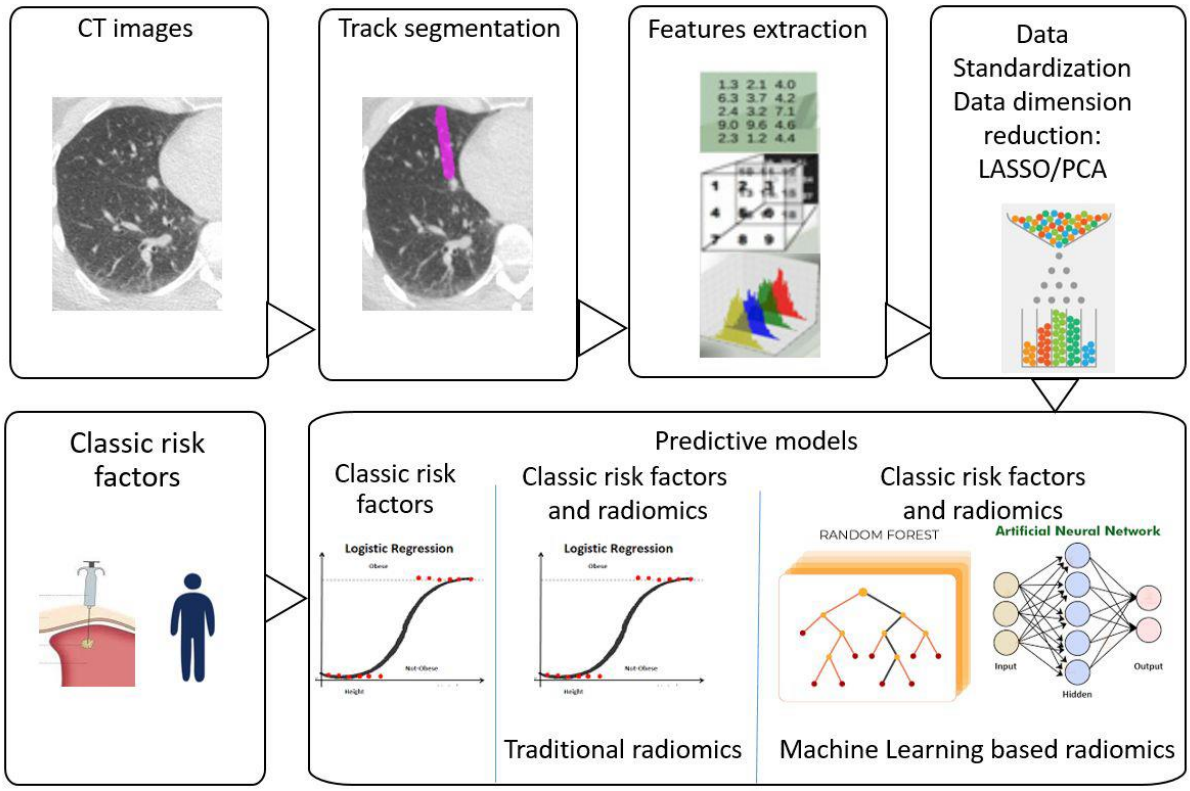


Figure 2. Diagramme de flux (*Flowchart)* exécuté pour l'analyse des caractéristiques radiomiques et le développement des modèles prédictifs. Chaque étape a été réalisée dans le but de répondre aux critères de score de qualité radiomique (RQS).

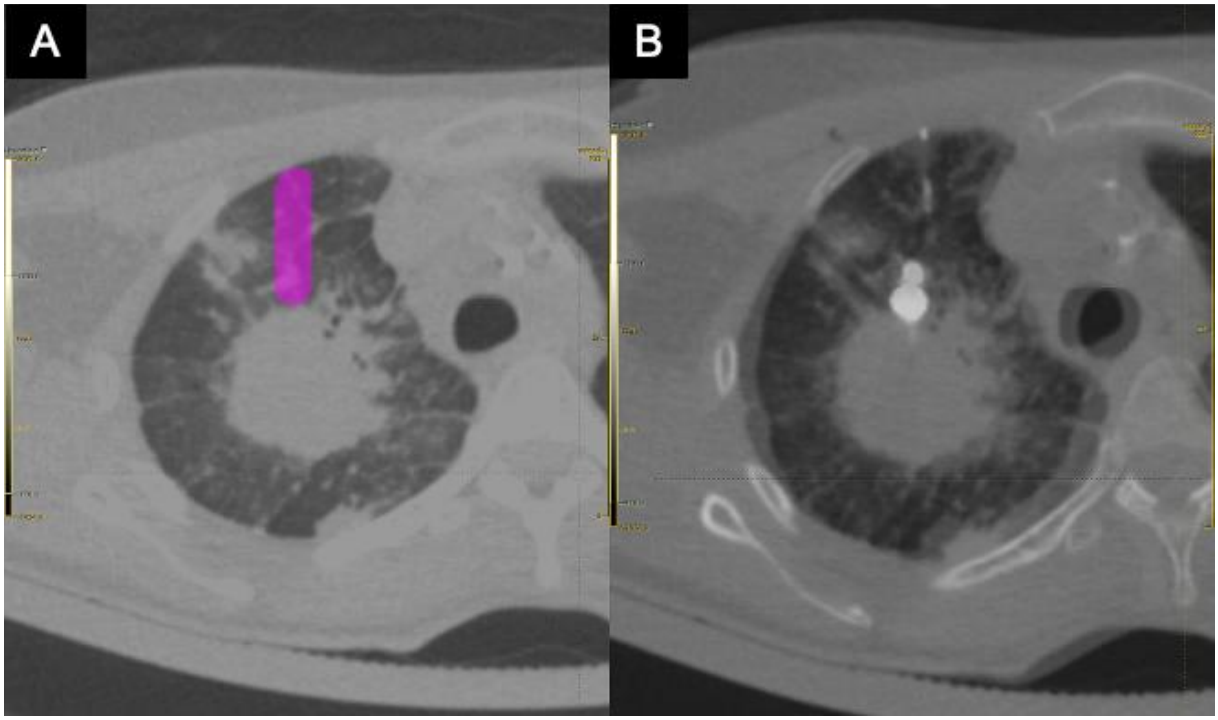


Figure 3. Segmentation manuelle par tracé d'une région d'intérêt (ROI) strictement parenchymateuse pulmonaire sur l'acquisition TDM initiale (A), correspondant au trajet biopsique révélé par l'acquisition finale (B).

Les ROIs avaient des paramètres constants (ROI rond en 2D de 10mm de diamètre) et étaient limités de la plèvre jusqu'au nodule en prenant uniquement le parenchyme pulmonaire. Les tumeurs sous pleurales ont été exclues (distance pleurale < 5mm) car les ROIs dépassaient sur la plèvre ou sur la tumeur.

Toutes les procédures nécessaires à l'extraction et à l'analyse des caractéristiques radiomiques ont été effectuées conformément aux directives de *l'Image Biomarker Standardization Initiative* (IBSI), qui résulte d'une collaboration internationale ayant pour but de standardiser les méthodes d'extraction des données radiomiques sur les imageries acquises (35). Le relevé du score de qualité radiomique (RQS) a été annoté par une validation externe (Annexe 2).

Critère d'évaluation principal

Le critère d'évaluation principal était la prédiction de survenue d'un pneumothorax immédiat sur les contrôles TDM effectués juste à la fin de la procédure (contrôle TDM final). La présence d'un pneumothorax a été établie sur l'acquisition TDM finale (voltage du tube 100 kV ; courant du tube 18mA, collimation 0,6 mm x 128,

pas hélicoïdal : 1,2, temps de rotation : 0,33 seconde/rotation, SFOV : 30 cm, épaisseur de la coupe : 0,5 mm, convolution du filtre B31f du tissu parenchymateux et fenêtre du médiastin) réalisé dans les 5 minutes suivant le retrait du co-axial. Le pneumothorax a été défini comme la présence d'air dans la cavité pleurale. Les petites bulles d'air millimétriques liées au passage transitoire de l'air à travers le coaxial dans la plèvre ont été ignorées. Un observateur externe, en aveugle des données de chaque patient, a procédé à l'évaluation de ce critère (radiologue interventionnel ayant 5 ans d'expérience en imagerie thoracique).

Analyse statistique

Les statistiques descriptives ont été exprimées sous forme de moyennes avec les extrêmes. Pour les données quantitatives, les médianes et les moyennes ont été calculées, et les pourcentages et les fréquences pour les données qualitatives. Le test du chi carré de Pearson ou le test de Fisher si nécessaire ont été utilisés pour comparer les données qualitatives nominales. Le test de Wilcoxon a été utilisé pour la comparaison des données qualitatives ordinales. Un niveau de signification de $p<0,05$ a été utilisé pour comparer la similitude entre les deux groupes ainsi que les différences dans les résultats des interventions. Les données manquantes n'ont pas été imputées pour la régression logistique mais ont été imputées pour le réseau de neurones artificiels (*Artificial Neural Network*) et pour l'analyse par forêt d'arbres décisionnels (*Random Forest*). La standardisation des données a été appliquée pour les deux dernières méthodes citées. Les méthodes de réduction des données utilisées ont été les suivantes : LASSO (*Least Absolute Shrinkage and Selection Operator*) pour la régression logistique, PCA (*Principal Component Analysis*) pour le réseau de neurones artificiels et la forêt d'arbres décisionnels. Pour réduire le sur-ajustement du réseau de neurones artificiels, nous avons utilisé la régularisation Dropout (80 %) et la normalisation par lots par défaut.

Pour effectuer la régression logistique, les patients ont été divisés en deux ensembles de données : l'ensemble d'entrainement (70%) et l'ensemble de test (30%). Trois ensembles prédictifs ont été utilisés dans ce modèle : ensemble de facteurs de risque classiques, ensemble des données radiomiques seules et ensemble général (union des ensembles classique et radiomique). Pour ajuster le réseau de neurones

artificiels, les patients ont été divisés en trois ensembles de données : ensemble d'entrainement (56 %), ensemble de test (30 %) et ensemble de validation (14 %).
La régression logistique a été mise en œuvre à l'aide de la procédure HPGENSELECT du logiciel SAS. La procédure HPGENSELECT fournit des méthodes de modèles linéaires généralisés. Dans l'édition de J. Nelder et R. Wedderburn, le modèle linéaire généralisé prend en charge la régression logistique. Le réseau de neurones artificiels (RNA) a été construit en utilisant le paquet KERAS du langage Python par l'IDE JetBrains. KERAS rentre dans le cadre TensorFlow de Google. Dans le RNA, nous avons utilisé deux couches cachées avec 4*nombre de facteurs prédictifs et 2*nombre de facteurs prédictifs de neurones respectivement. La fonction sigmoïde et la fonction softmax ont été testées comme fonction d'activation du RNA. La forêt d'arbres décisionnels a été construite à l'aide de la fonction RandomForestClassifier de la bibliothèque SkLearn du langage Python par JetBrains IDE. SkLearn fait partie du projet Scikit Learn. Le RandomForestClassifier a utilisé les paramètres par défaut.

Un modèle prédictif basé sur la méthode de régression logistique a été établi pour un sous-groupe de patients qui n'ont pas bénéficié d'embolisation du trajet biopsique. Nous n'avons pas pu établir un modèle basé sur l'apprentissage automatique (RNA ou forêt d'arbres décisionnels) pour ce sous-groupe en raison du nombre insuffisant de patients.

RÉSULTATS

Population étudiée

879 patients ont bénéficié d'une BP-TDM au sein de l'institut entre le 1er janvier 2018 et le 30 mars 2021. 46 patients avaient une acquisition TDM initiale avec un voltage différent de 100kV (80-120-140kV) et 31 patients avaient des tumeurs pleurales ou pariétales, ces patients ont donc été exclus de la cohorte. Ainsi, un total de 802 patients a finalement été inclus au sein dans la cohorte (Figure 4). 244 patients avaient un nodule de topographie sous pleurale (distance <5mm à la plèvre) et n'ont pas été inclus dans l'analyse radiomique en raison de l'impossibilité de positionner une ROI en projection du trajet biopsique. Les données de 559 patients ont donc pu être analysées et considérées pour la constitution des modèles prédictifs. 29% (162/559) des patients ont présenté un pneumothorax, 3,5% (20/559) se sont vu poser un drain pleural.

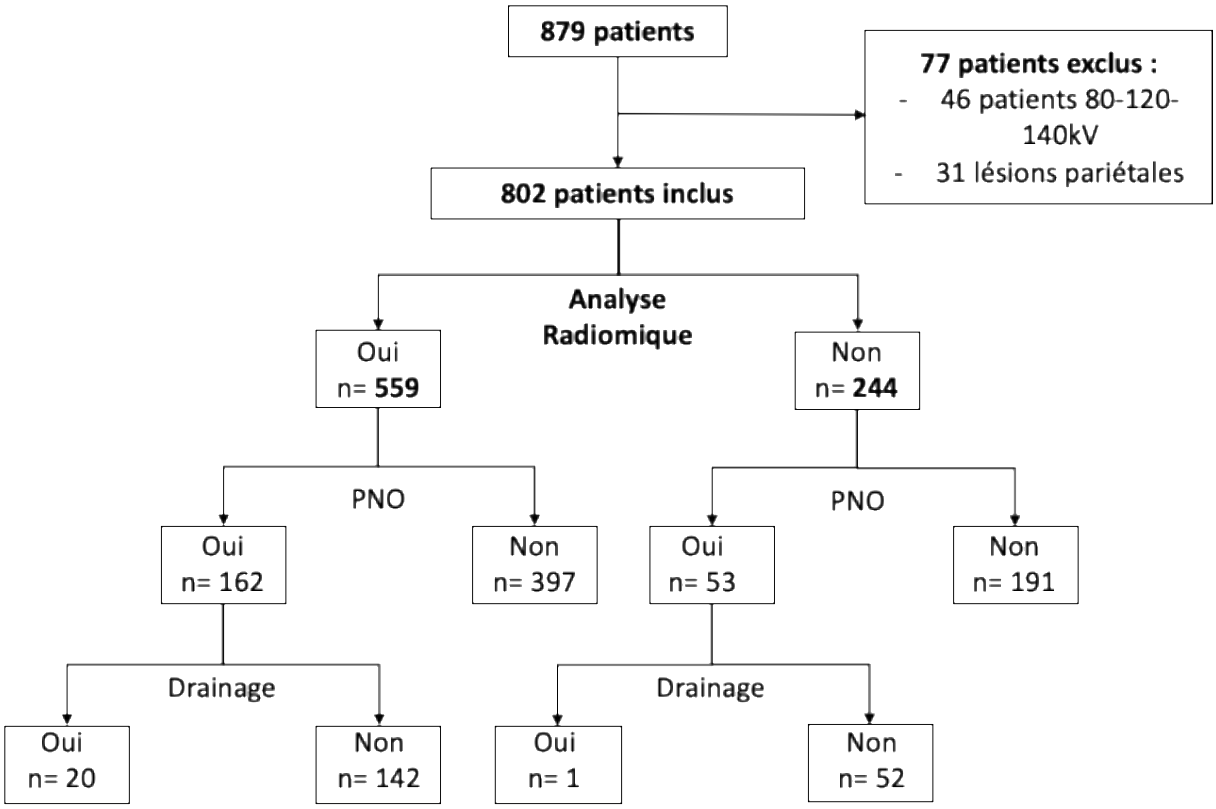


Figure 4. Diagramme de flux (*Flowchart*) de la cohorte de l'étude. PNO = pneumothorax.

Les caractéristiques des patients et des nodules ainsi que les données associées à la biopsie pulmonaire sont rapportées dans l'annexe 3.

Analyses univariées

Les analyses univariées sont présentées dans le tableau 1. Le test exact de Fisher a identifié les facteurs de risque pour lesquelles la probabilité d'une distribution aléatoire des valeurs entre les patients avec et sans pneumothorax est inférieure à 5 % : l'âge, la durée de la biopsie (avec une différence significative du risque de pneumothorax entre les procédures d'une durée inférieure à 10 minutes et les procédures d'une durée supérieure à 10 minutes), la position du patient (en décubitus ventral ou dorsal par rapport au décubitus latéral) et le trajet biopsique trans-scissural. L'embolisation du trajet biopsique par l'éponge de gélatine dilué dans le produit de contraste iodé apparait en revanche comme un facteur protecteur significatif par rapport aux procédures qui n'ont pas fait l'objet d'une embolisation (p<0.001).

	Classes	*Statistiques*	*Tous (n=559)*	*Pas de PNO (n=394)*	*PNO (n=165)*	*p-value (Wilcoxon or Khi²)*
Genre	Femme	n (%)	313 (56.0)	219 (55.6)	94 (57.0)	0.7633
	Homme	n (%)	246 (44.0)	175 (44.4)	71 (43.0)	
Age		n	559	394	165	**0.0285**
		Moy (SD)	65.8 (11.9)	65.1 (11.9)	67.4 (11.6)	
		Median [Min-Max]	67.0 [19.0-93.0]	67.0 [21.0-91.0]	69.0 [19.0-93.0]	
	< 70 ans	n (%)	329 (58.9)	242 (61.4)	87 (52.7)	0.0567
	>= 70 ans	n (%)	230 (41.1)	152 (38.6)	78 (47.3)	
Taille de la lésion		n	558	393	165	0.4339
		Moy (SD)	24.2 (18.3)	24.8 (19.2)	22.8 (16.2)	
		Median [Min-Max]	18.0 [3.0-121.0]	19.0 [3.0-121.0]	17.0 [3.0-89.0]	
	< 20 mm	n (%)	298 (53.4)	204 (51.9)	94 (57.0)	0.2741
	>= 20 mm	n (%)	260 (46.6)	189 (48.1)	71 (43.0)	

		Données manquantes	1	1	0	
Longueur du trajet		n	552	389	163	0.6102
		Moy (SD)	25.9 (15.5)	26.0 (15.0)	25.8 (16.6)	
		Median [Min-Max]	23.0 [1.0-108.0]	23.0 [1.0-96.0]	22.0 [1.0-108.0]	
	< 25 mm	n (%)	295 (53.4)	206 (53.0)	89 (54.6)	0.7238
	>= 25 mm	n (%)	257 (46.6)	183 (47.0)	74 (45.4)	
		Données manquantes	7	5	2	
Durée de ponction		n	554	389	165	**0.0041**
		Moy(SD)	10.1 (4.1)	9.8 (4.0)	10.9 (4.4)	
		Median [Min-Max]	9.0 [1.0-28.0]	9.0 [2.0-28.0]	10.0 [1.0-27.0]	
	< 10 min	n (%)	301 (54.3)	224 (57.6)	77 (46.7)	**0.0183**
	>= 10 min	n (%)	253 (45.7)	165 (42.4)	88 (53.3)	
		Données manquantes	5	5	0	
Pourcentage emphysème		n	529	374	155	0.4375
		Moy (SD)	1.5 (2.5)	1.4 (2.4)	1.7 (2.7)	
		Median [Min-Max]	0.7 [0.0-29.0]	0.7 [0.0-29.0]	0.8 [0.0-12.8]	
	>= 0.7%	n (%)	288 (54.4)	202 (54.0)	86 (55.5)	
		Données manquantes	30	20	10	
Petit angle		n	556	391	165	0.8981
		Moy (SD)	57.8 (20.6)	57.8 (20.7)	57.6 (20.6)	
		Median [Min-Max]	58.0 [1.0-98.0]	58.0 [1.0-98.0]	59.0 [15.0-92.0]	
	< 60°	n (%)	288 (51.8)	204 (52.2)	84 (50.9)	0.7851
	>= 60°	n (%)	268 (48.2)	187 (47.8)	81 (49.1)	
Position	DD	n (%)	206 (36.9)	150 (38.1)	56 (33.9)	0.1298
	DLD	n (%)	37 (6.6)	24 (6.1)	13 (7.9)	
	PC	n (%)	270 (48.3)	194 (49.2)	76 (46.1)	
	DLG	n (%)	46 (8.2)	26 (6.6)	20 (12.1)	
Plat	DL	n (%)	83 (14.8)	50 (12.7)	33 (20.0)	**0.0266**
	plat	n (%)	476 (85.2)	344 (87.3)	132 (80.0)	
Procubitus	Non	n (%)	289 (51.7)	200 (50.8)	89 (53.9)	0.4928
	Oui	n (%)	270 (48.3)	194 (49.2)	76 (46.1)	

Antécédent de chirurgie	Non	n (%)	543 (97.1)	381 (96.7)	162 (98.2)	0.3380
	Oui	n (%)	16 (2.9)	13 (3.3)	3 (1.8)	
Lésion excavée	Non	n (%)	516 (93.5)	366 (94.1)	150 (92.0)	0.3706
	Oui	n (%)	36 (6.5)	23 (5.9)	13 (8.0)	
		Données manquantes	7	5	2	
Scissure	Non	n (%)	536 (95.9)	388 (98.5)	148 (89.7)	<.0001
	Oui	n (%)	23 (4.1)	6 (1.5)	17 (10.3)	
Embolisation	Non	n (%)	132 (23.6)	74 (18.8)	58 (35.2)	<.0001
	Oui	n (%)	427 (76.4)	320 (81.2)	107 (64.8)	

Tableau 1. Analyse univariée des facteurs de risque de pneumothorax immédiat après BP-TDM.

PNO = pneumothorax. Moy = moyenne. DD = décubitus dorsal. DLD = décubitus latéral droit. PC = procubitus. DLG = décubitus latéral gauche.

Performance des modèles : Régression logistique, réseau de neurones artificiels et forêts d'arbres décisionnels

Aucun des modèles testés n'a montré une aire sous la courbe (AUC) supérieure à 80 %, 80 % étant le niveau jugé nécessaire pour l'application d'un modèle prédictif en pratique clinique. Comme le montre la figure 5, l'aire sous la courbe du modèle prédictif incluant les facteurs non radiomiques était de 0,6522 dans la cohorte d'entrainement et de 0,6301 dans la cohorte de test. L'aire sous la courbe du modèle prédictif incluant uniquement des facteurs radiomiques était de 0,50 dans la cohorte d'entrainement et de 0,49 dans la cohorte de test. L'analyse par régression logistique obtenu par le modèle qui tenait compte à la fois de l'ensemble des données classiques et des données radiomiques présentait des résultats discrètement meilleurs. L'aire sous la courbe de ce modèle prédictif était de 0,6707 dans la cohorte d'entraînement et de 0,6494 dans la cohorte de test.

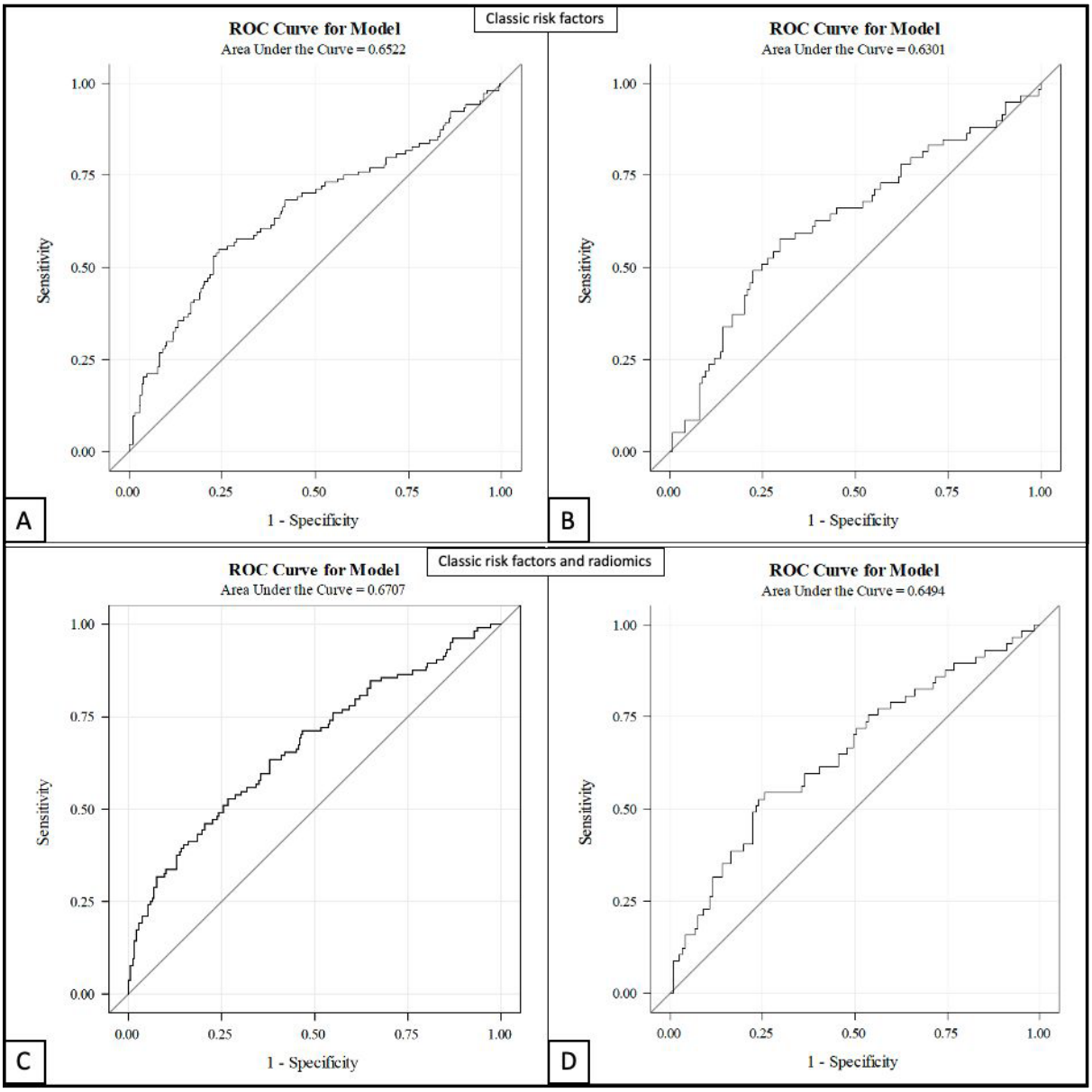


Figure 5. Courbes ROC avec modèle utilisant la méthode de régression logistique. Les courbes A (cohorte d'entrainement) et B (cohorte de test) intègrent les facteurs de risque classiques de pneumothorax. Les courbes C (cohorte d'entrainement) et D (cohorte de test) intègrent les facteurs de risque classiques de pneumothorax associés aux données radiomiques recueillies.

La meilleure performance prédictive avec un modèle prédictif basé sur la régression logistique a été trouvée dans l'analyse de sous-groupe sur les 132 patients qui n'ont pas eu d'embolisation du trajet biopsique (AUC= 0,7647) (figure 6). L'analyse univariée réalisée au sein de ce sous-groupe donnait également l'emphysème comme

facteur de risque significatif de pneumothorax (p=0.029), alors qu'il n'y avait pas de significativité dans la cohorte totale.

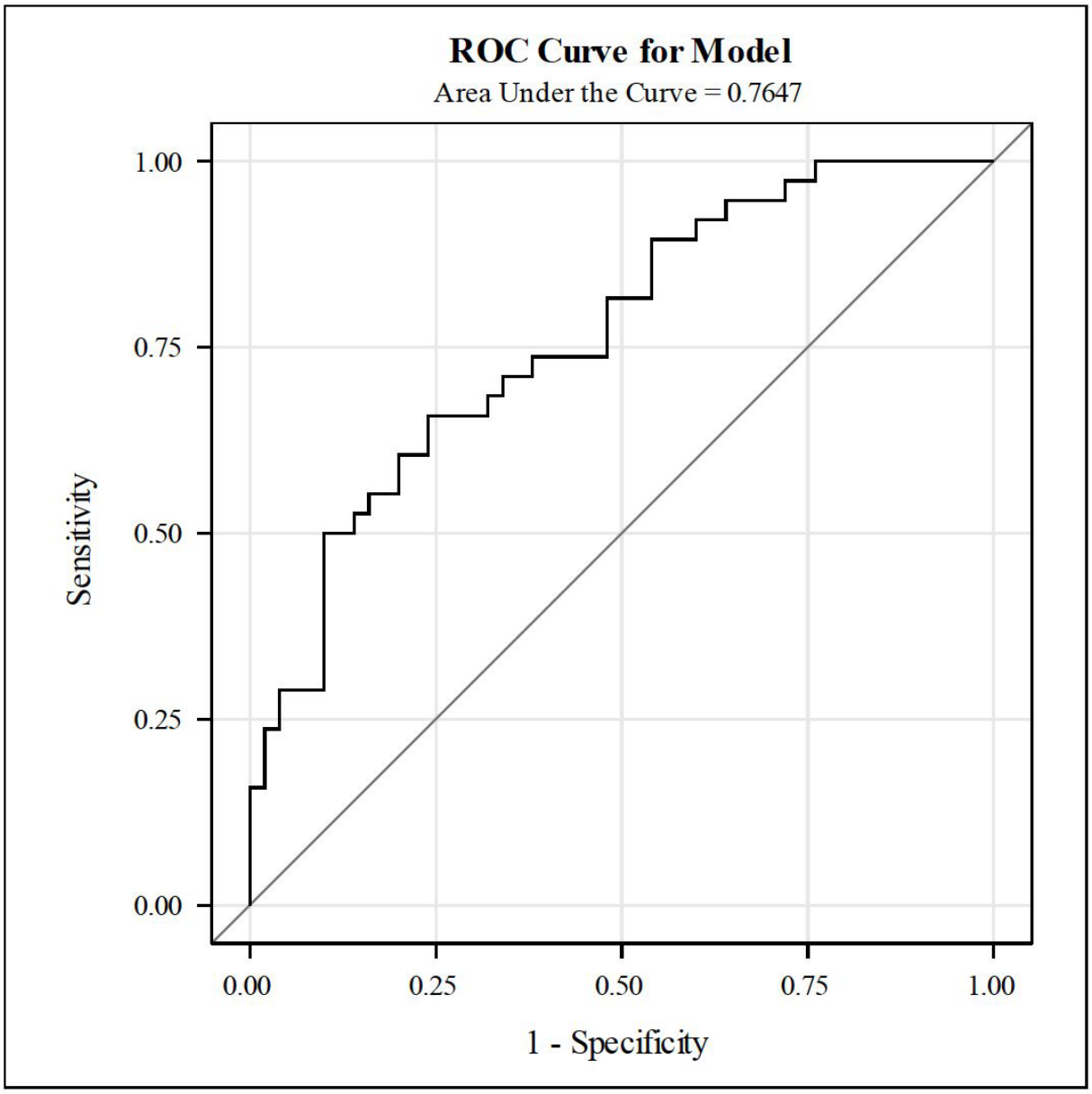


Figure 6. Courbe ROC pour le modèle prédictif basé sur la régression logistique combinant les facteurs de risque classiques et les données radiomiques des patients n'ayant pas bénéficié d'une embolisation du trajet biopsique.

Pour les modèles prédictifs basés sur l'apprentissage automatique des données radiomiques, le modèle prédictif à partir de la méthode de forêt d'arbres décisionnels était le plus performant avec une précision de 0,696 (figure 7). L'algorithme a identifié les paramètres suivants comme facteurs prédictifs cruciaux de survenue de PNO :

longueur du trajet biopsique, âge, taux d'emphysème, angle entre l'aiguille et la plèvre, grand axe du nodule prélevé et durée de la biopsie. Aucun paramètre radiomique n'a été retenu comme facteurs de risque. Les performances obtenues par application du réseau de neurones artificiels étaient inférieures (AUC= 0,55) (figure 8).

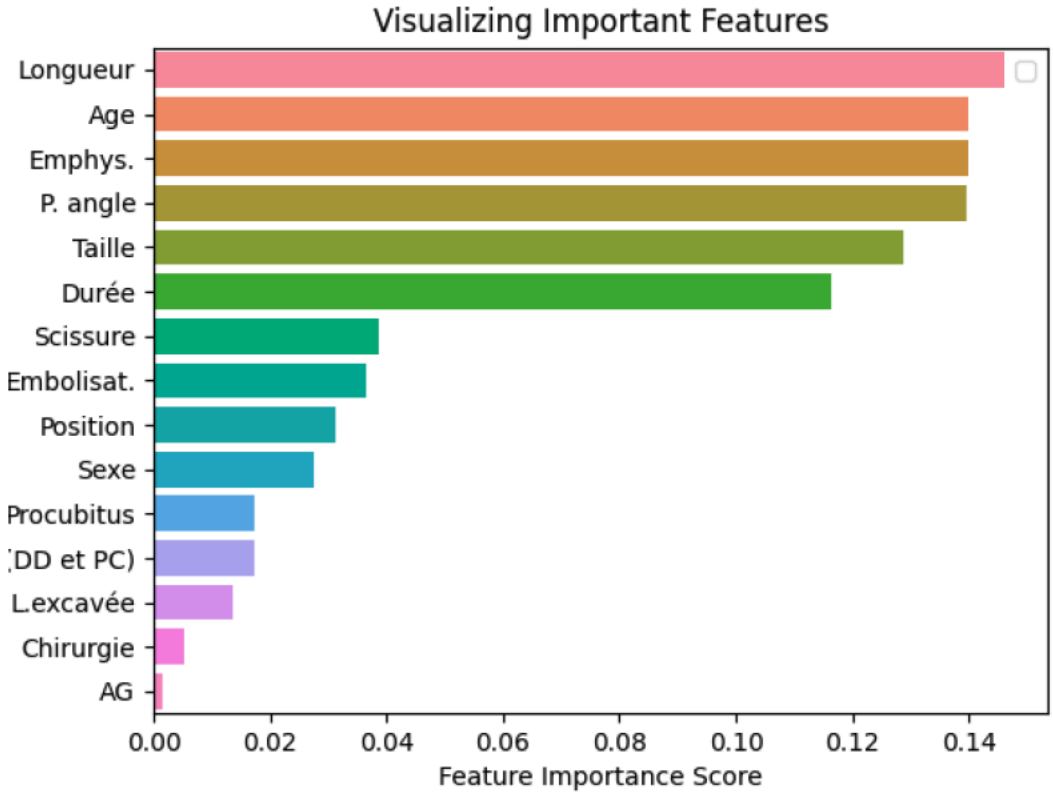


Tableau croisé pour l'ensemble de test
Précision = 0.696

	PNO-négatif	PNO-positif
PNO-négatif	106	11
PNO-positif	40	11

Figure 7. *Cross-tabulation* pour la cohorte de test, utilisant le modèle basé sur la forêt d'arbres décisionnels. La valeur prédictive est de 0,69. Le classificateur permet de visualiser les facteurs de risque les plus importants.

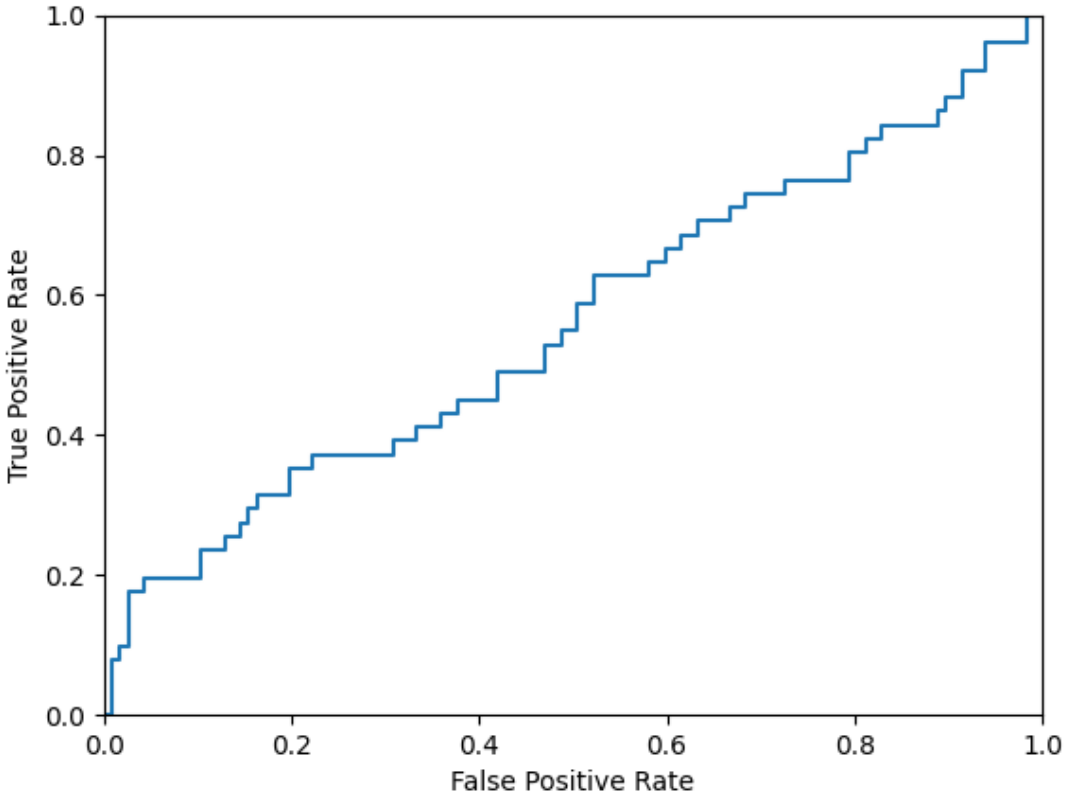


Figure 8. Courbe ROC pour le réseau de neurones artificiels, avec une AUC= 0.5589.

DISCUSSION

La radiomique traditionnelle a apporté une contribution modeste aux modèles prédictifs du pneumothorax immédiat après BP-TDM. La radiomique basée sur l'apprentissage automatique, et en particulier l'algorithme basé sur les forêts de décision aléatoire prenant en compte les données classiques et radiomiques, a montré les meilleures performances prédictives (AUC = 0.696 versus 0.6707). Cependant, aucun des modèles testés n'a montré une aire sous la courbe ROC supérieure à 80 %, seuil inférieur pour une utilisation en pratique clinique.

Il n'y a pas de données consistantes concernant l'incidence du pneumothorax après BP-TDM. Selon les données de *l'American Society of Interventional Radiology*, de la *British Thoracic society* et de *l'European society of Interventional Radiology*, l'incidence du pneumothorax est respectivement estimée à 45%, 20,5% et entre 18,8% et 25,3%. Le taux de pose de drain thoracique est respectivement estimé à 20%, 3,1% et entre 4,3% et 5,1%. Dans notre étude, environ 29% des biopsies ont été compliquées par un pneumothorax, ce qui est comparable à la plupart des études traitant de cette complication (9)(10) (11). Un drain pleural a été posé chez 3,5 % des patients, ce qui se situe dans la fourchette basse des taux trouvés au sein des études similaires. Une des raisons possibles est la pratique d'une embolisation du trajet biopsique qui s'est révélé être un outil significativement protecteur de survenue d'un pneumothorax. Cette technique s'est par ailleurs avérée efficace dans plusieurs études pour réduire l'incidence du pneumothorax et du drainage pleural (30)(31).

De nombreux travaux ont identifié les principaux facteurs de risque indépendants classiques de pneumothorax au cours de la BP-TDM (12)(14)(17). Récemment, Huo et *Al*. ont publié une méta-analyse sur ce sujet incluant 36 articles et 23104 patients (11). Parmi les facteurs de risque classiques étudiés, l'emphysème, une tumeur de petite taille, une tumeur plus profonde, l'absence de contact pleural, un trajet biopsique traversant des bulles d'emphysème ou une scissure, la position en décubitus latéral, l'apnée pendant la ponction, l'entrée de l'aiguille à travers la paroi thoracique antérieure, les ponctions pleurales multiples, les prélèvements multiples sans utilisation de co-axial et les calibres d'aiguille/co-axial plus grands étaient des facteurs de risque significatifs de pneumothorax. Les résultats trouvés dans notre étude, notamment lors de l'analyse avec apprentissage automatique de type forêt d'arbres décisionnels, sont similaires à ceux trouvés dans cette méta-analyse, en

identifiant l'emphysème, un nodule de taille plus petite, une tumeur plus profonde (distance par rapport à la plèvre), la traversée d'une scissure et la position en décubitus latéral. La traversée de bulles d'emphysème, l'apnée, l'entrée de l'aiguille à travers la paroi thoracique antérieure, les ponctions pleurales multiples, les prélèvements multiples sans co-axial et les plus gros calibres d'aiguille n'ont pas été étudiés. L'angle de la biopsie n'est pas toujours rapporté dans les études, mais il ressort à chaque fois comme un facteur de risque indépendant, ce facteur a également été identifié dans le modèle utilisant la forêt d'arbres décisionnels (33)(36).

Deux études avaient proposé un modèle prédictif permettant la constitution de nomogrammes (18)(19). Wang et *Al*. ont proposé un modèle associant l'âge du patient, le type histologique de la tumeur biopsiée, la durée de la biopsie, la distance à la plèvre et la position du patient comme facteurs de risque significatifs. Le modèle établi avait une bonne valeur prédictive du pneumothorax tant dans la cohorte d'entrainement (AUC=0.801) que dans la cohorte de validation externe (AUC=0.738). Le modèle était simple d'utilisation, nécessitant une simple addition de ces facteurs pondérés, afin d'avoir un total de point équivalent à un risque de pneumothorax lors de la biopsie (Annexe 4). Zhao et *Al.* avaient précédemment établi un modèle prédictif en utilisant comme critères : l'âge, l'emphysème, le contact ou non avec la plèvre, le petit axe de la tumeur, la position du patient, le nombre de ponctions à travers la plèvre. A partir d'une formule mathématique, un score prédictif de pneumothorax a été établi, avec une AUC=0,735. Tous les modèles prédictifs établis dans notre étude, que ce soit la régression logistique conventionnelle ou les techniques d'apprentissage automatique, avaient des performances inférieures. Une des explications probables de ce résultat est la présence d'une grande majorité d'embolisation des trajets biopsiques. En effet, notre étude est la plus importante portant sur les facteurs de risque du pneumothorax analysant l'effet de l'embolisation des trajets biopsiques. Les régions d'intérêt (ROIs) ayant été segmentées par rapport à ces trajets embolisés, la valeur des données radiomiques dans l'analyse finale a pu être masquée. L'analyse en sous-groupe sur les patients n'ayant pas bénéficié d'une embolisation du trajet biopsique a en effet permis de montrer, sur une plus petite population, une valeur prédictive de pneumothorax meilleure que sur la cohorte totale, avec une AUC sur l'analyse combinée facteurs de risque classique et données radiomiques se rapprochant de 0.80. Une augmentation de la cohorte de patients sans embolisation pourrait améliorer la performance prédictive de nos modèles incluant les données radiomiques, et

permettre de mettre en évidence l'apport que pourraient avoir les paramètres radiomiques dans la prédiction du pneumothorax immédiat.

L'intérêt des caractéristiques radiomiques dans la caractérisation du parenchyme pulmonaire est maintenant établie dans la littérature, plusieurs études utilisant la radiomique sur des pathologies pulmonaires ont été réalisées ces dernières années (26). Outre l'application oncologique avec l'étude des nodules pulmonaires, l'analyse du parenchyme pulmonaire emphysémateux est une approche récente qui étudie l'importance de l'emphysème et des données radiomiques parenchymateuses dans la sévérité de la maladie pulmonaire obstructive chronique (BPCO) et la corrélation des caractéristiques radiomiques avec les données de la fonction pulmonaire et de la spirométrie (24)(25). Il a été démontré que les données radiomiques qualitatives et quantitatives de l'emphysème pulmonaire sont en corrélation avec les données spirométriques, en particulier dans la sévérité de la BPCO (25). Ces résultats pourraient être complémentaires à ceux de notre étude. D'une part, cela pourrait intégrer la sévérité de l'atteinte emphysémateuse attestée par les données radiomiques comme facteur de risque indépendant de pneumothorax. Et d'autre part, dans le cadre de l'évaluation pré-procédure des patients à « haut risque », cela peut présager d'une dégradation respiratoire en cas de survenue d'un pneumothorax sur le poumon pathologique sous-jacent. A l'inverse, une étude établissant un modèle prédictif de la tomographie par émission de positons/CT (TEP/CT) dans le cadre de la caractérisation de nodule mammaire a montré des performances équivalentes du modèle prédictif avec et sans données radiomiques, suggérant que l'utilisation de caractéristiques sélectionnées n'augmentait pas le pouvoir discriminant du modèle avec l'utilisation de données radiomiques (37).

Les différents biais liés au développement d'un modèle prédictif basé sur des critères radiomiques, et qui auraient pu affecter l'étude et expliquer ces résultats, ont été pris en compte. Notre étude a suivi les recommandations du *Transparent Reporting of a Multivariable Prediction Model for Individual Prognosis or Diagnosis* (TRIPOD) afin de garder une discipline méthodologique dans l'établissement d'un modèle prédictif (Annexe 5). L'analyse des données a été réalisée de manière rigoureuse, conformément aux recommandations de l'IBSI et l'évaluation RQS a été évaluée (Annexe 2).

La principale limite est l'approche rétrospective qui suggère des biais inhérents à ce type d'étude. L'inclusion consécutive de patients nécessitant une BP-TDM limite

néanmoins certains de ces biais. De plus, il s'agit d'une étude monocentrique réalisée au sein d'un centre de référence spécialisé en procédure interventionnelle oncologique, qui ne reflète pas nécessairement la pratique quotidienne au sein d'autres centres. Les techniques de biopsie pratiquées par des radiologues formés et habitués à ce genre de procédure pourraient réduire le risque de pneumothorax (12)(38), cependant une étude récente n'a montré aucune différence significative entre les radiologues inexpérimentés (interne et assistant) et les radiologues plus expérimentés dans la survenue de pneumothorax (17). Certaines données auraient pu être utiles pour être étudiées en tant que facteurs de risque de la survenue d'un pneumothorax pendant la procédure de biopsie, notamment le nombre de prélèvements biopsiques et le repositionnement du coaxial lors de la ponction. Enfin, nous avons montré que les modèles radiomiques basés sur l'apprentissage automatique pouvaient être bénéfiques dans l'amélioration de la performance prédictive d'un modèle utilisant les données radiomiques, cependant, le développement d'un modèle entièrement basé sur l'apprentissage profond (réseaux de neurones profonds) pourrait être davantage intéressant.

Le développement de modèles prédictifs du risque de pneumothorax après BP-TDM peut être considéré comme un outil de prévention primaire. En effet, la possibilité d'évaluer a priori le risque de pneumothorax pourrait permettre d'anticiper les soins spécifiques à donner aux patients à haut risque de pneumothorax et, à l'inverse, elle permettrait de proposer à certains patients à bas risque une prise en charge ambulatoire. L'engouement récent pour l'embolisation du trajet biopsique, qui serait considéré comme un moyen de prévention secondaire du pneumothorax en limitant le risque de survenue de cette complication à la fin de la procédure, rend probablement discutable l'utilisation de la radiomique dans ces modèles. L'apprentissage profond aura probablement un plus grand intérêt dans l'élaboration de ces modèles intégrant des facteurs de prévention secondaire à l'image de l'embolisation du trajet.

CONCLUSION

L’inclusion de critères radiomiques au sein d’un modèle prédictif de pneumothorax lors d’une biopsie pulmonaire percutanée présente un bénéfice modeste par rapport au modèle utilisant les facteurs de risque classique. La radiomique basée sur l'apprentissage automatique semble avoir les meilleures performances prédictives mais d’autres études doivent cependant être réalisées pour confirmer l’apport de ces données dans le cadre d’une prévention primaire globale et personnalisée du pneumothorax.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Rivera MP, Mehta AC, Wahidi MM. Establishing the Diagnosis of Lung Cancer. Chest. 2013 May;143(5):e142S-e165S. doi: 10.1378/chest.12-2353
2. MacMahon H, Naidich DP, Goo JM, Lee KS, Leung ANC, Mayo JR, et al. Guidelines for Management of Incidental Pulmonary Nodules Detected on CT Images: From the Fleischner Society 2017. Radiology. 2017 Jul;284(1):228–43. doi: 10.1148/radiol.2017161659
3. Yoon SH, Lee SM, Park CH, Lee JH, Kim H, Chae KJ, et al. 2020 Clinical Practice Guideline for Percutaneous Transthoracic Needle Biopsy of Pulmonary Lesions: A Consensus Statement and Recommendations of the Korean Society of Thoracic Radiology. Korean J Radiol. 2021;22(2):263. doi: https://doi.org/10.3348/kjr.2020.0137
4. Veltri A, Bargellini I, Giorgi L, Almeida PAMS, Akhan O. CIRSE Guidelines on Percutaneous Needle Biopsy (PNB). Cardiovasc Intervent Radiol. 2017 Oct;40(10):1501–13. doi: 10.1007/s00270-017-1658-5
5. Manhire A. Guidelines for radiologically guided lung biopsy. Thorax. 2003 Nov 1;58(11):920–36. doi: 10.1136/thorax.58.11.920
6. de Margerie-Mellon C, de Bazelaire C, de Kerviler E. Image-guided biopsy in primary lung cancer: Why, when and how. Diagnostic and Interventional Imaging. 2016 Oct;97(10):965–72. doi: 10.1016/j.diii.2016.06.016
7. Bailey CR, Ahuja M, Bartholomew K, Bew S, Forbes L, Lipp A, et al. Guidelines for day-case surgery 2019: Guidelines from the Association of Anaesthetists and the British Association of Day Surgery. Anaesthesia. 2019 Jun;74(6):778–92. doi: 10.1111/anae.14639
8. Quemby DJ, Stocker ME. Day surgery development and practice: key factors for a successful pathway. Continuing Education in Anaesthesia Critical Care & Pain. 2014 Dec;14(6):256–61. doi: 10.1093/bjaceaccp/mkt066
9. Sabatino V, Russo U, D'Amuri F, Bevilacqua A, Pagnini F, Milanese G, et al. Pneumothorax and pulmonary hemorrhage after CT-guided lung biopsy: incidence, clinical significance and correlation. Radiol med. 2021 Jan;126(1):170–7. doi: 10.1007/s11547-020-01211-0

10. Gupta S, Wallace MJ, Cardella JF, Kundu S, Miller DL, Rose SC. Quality Improvement Guidelines for Percutaneous Needle Biopsy. Journal of Vascular and Interventional Radiology. 2010 Jul;21(7):969–75. doi: 10.1016/j.jvir.2010.01.011
11. Huo YR, Chan MV, Habib A-R, Lui I, Ridley L. Pneumothorax rates in CT-Guided lung biopsies: a comprehensive systematic review and meta-analysis of risk factors. BJR. 2020 Apr 1;93(1108):20190866. doi: 10.1259/bjr.20190866
12. Heerink WJ, de Bock GH, de Jonge GJ, Groen HJM, Vliegenthart R, Oudkerk M. Complication rates of CT-guided transthoracic lung biopsy: meta-analysis. Eur Radiol. 2017 Jan;27(1):138–48. doi: 10.1007/s00330-016-4357-8
13. Wiener RS, Schwartz LM, Woloshin S, Welch HG. Population-Based Risk for Complications After Transthoracic Needle Lung Biopsy of a Pulmonary Nodule: An Analysis of Discharge Records. :9. doi: 10.7326/0003-4819-155-3-201108020-00003
14. Khan MF, Straub R, Moghaddam SR, Maataoui A, Gurung J, Wagner TOF, et al. Variables affecting the risk of pneumothorax and intrapulmonal hemorrhage in CT-guided transthoracic biopsy. Eur Radiol. 2008 Jul;18(7):1356–63. doi: 10.1007/s00330-008-0893-1
15. Topal U, Ediz B. Transthoracic needle biopsy: factors effecting risk of pneumothorax. European Journal of Radiology. 2003 Dec;48(3):263–7. doi: 10.1016/s0720-048x(03)00058-5
16. Covey AM, Gandhi R, Brody LA, Getrajdman G, Thaler HT, Brown KT. Factors Associated With Pneumothorax and Pneumothorax Requiring Treatment after Percutaneous Lung Biopsy in 443 Consecutive Patients. Journal of Vascular and Interventional Radiology. 2004 May;15(5):479–83. doi: 10.1097/01.rvi.0000124951.24134.50
17. Ruud EA, Stavem K, Geitung JT, Borthne A, Søyseth V, Ashraf H. Predictors of pneumothorax and chest drainage after percutaneous CT-guided lung biopsy: A prospective study. Eur Radiol. 2021 Jun;31(6):4243–52. doi: 10.1007/s00330-020-07449-6
18. Wang S, Tu J, Chen W. Development and Validation of a Prediction Pneumothorax Model in CT-Guided Transthoracic Needle Biopsy for Solitary Pulmonary Nodule. BioMed Research International. 2019 May 5;2019:1–7. doi: 10.1155/2019/7857310

19. Zhao Y, Wang X, Wang Y, Zhu Z. Logistic regression analysis and a risk prediction model of pneumothorax after CT-guided needle biopsy. J Thorac Dis. 2017 Nov;9(11):4750–7. doi: 10.21037/jtd.2017.09.47
20. Xu S, Qi J, Li B, Bie Z-X, Li Y-M, Li X-G. Risk prediction of pneumothorax in lung malignancy patients treated with percutaneous microwave ablation: development of nomogram model. International Journal of Hyperthermia. 2021 Jan 1;38(1):488–97. doi: 10.1080/02656736.2021.1902000
21. Aerts HJWL, Velazquez ER, Leijenaar RTH, Parmar C, Grossmann P, Carvalho S, et al. Decoding tumour phenotype by noninvasive imaging using a quantitative radiomics approach. Nat Commun. 2014 Sep 22;5(1):4006. doi: https://doi.org/10.1038/ncomms5006
22. Lambin P, Rios-Velazquez E, Leijenaar R, Carvalho S, van Stiphout RGPM, Granton P, et al. Radiomics: Extracting more information from medical images using advanced feature analysis. European Journal of Cancer. 2012 Mar;48(4):441–6. doi: 10.1016/j.ejca.2011.11.036
23. Lambin P, Leijenaar RTH, Deist TM, Peerlings J, de Jong EEC, van Timmeren J, et al. Radiomics: the bridge between medical imaging and personalized medicine. Nat Rev Clin Oncol. 2017 Dec;14(12):749–62. doi: 10.1038/nrclinonc.2017.141
24. Refaee T, Wu G, Ibrahim A, Halilaj I, Leijenaar RTH, Rogers W, et al. The Emerging Role of Radiomics in COPD and Lung Cancer. Respiration. 2020;99(2):99–107. doi: 10.1159/000505429
25. Occhipinti M, Paoletti M, Bartholmai BJ, Rajagopalan S, Karwoski RA, Nardi C, et al. Spirometric assessment of emphysema presence and severity as measured by quantitative CT and CT-based radiomics in COPD. Respir Res. 2019 Dec;20(1):101. doi: https://doi.org/10.1186/s12931-019-1049-3
26. Röhrich S, Hofmanninger J, Prayer F, Müller H, Prosch H, Langs G. Prospects and Challenges of Radiomics by Using Nononcologic Routine Chest CT. Radiology: Cardiothoracic Imaging. 2020 Aug 1;2(4):e190190. doi: 10.1148/ryct.2020190190
27. Chetan MR, Gleeson FV. Radiomics in predicting treatment response in non-small-cell lung cancer: current status, challenges and future perspectives. Eur Radiol. 2021 Feb;31(2):1049–58. doi: 10.1007/s00330-020-07141-9

28. Agresti A, Coull BA. Approximate Is Better than “Exact” for Interval Estimation of Binomial Proportions. The American Statistician. 1998 May;52(2):119. doi: https://doi.org/10.2307/2685469
29. Kuban JD, Tam AL, Huang SY, Ensor JE, Philip AS, Chen GJ, et al. The Effect of Needle Gauge on the Risk of Pneumothorax and Chest Tube Placement After Percutaneous Computed Tomographic (CT)-Guided Lung Biopsy. Cardiovasc Intervent Radiol. 2015 Dec;38(6):1595–602. doi: 10.1007/s00270-015-1097-0
30. Baadh AS, Hoffmann JC, Fadl A, Danda D, Bhat VR, Georgiou N, et al. Utilization of the track embolization technique to improve the safety of percutaneous lung biopsy and/or fiducial marker placement. Clinical Imaging. 2016 Sep;40(5):1023–8. doi: 10.1016/j.clinimag.2016.06.007
31. Dassa M, Izaaryene J, Daidj N, Piana G. Efficacy of Tract Embolization After Percutaneous Pulmonary Radiofrequency Ablation. Cardiovasc Intervent Radiol. 2021 Jun;44(6):903–10. doi: 10.1007/s00270-020-02745-6
32. MacDuff A, Arnold A, Harvey J, on behalf of the BTS Pleural Disease Guideline Group. Management of spontaneous pneumothorax: British Thoracic Society pleural disease guideline 2010. Thorax. 2010 Aug 1;65(Suppl 2):ii18–31. doi: 10.1136/thx.2010.136986
33. Yildirim E, Kirbas I, Harman A, Ozyer U, Tore HG, Aytekin C, et al. CT-guided cutting needle lung biopsy using modified coaxial technique: Factors effecting risk of complications. European Journal of Radiology. 2009 Apr;70(1):57–60. doi: 10.1016/j.ejrad.2008.01.006
34. Nioche C, Orlhac F, Boughdad S, Reuzé S, Goya-Outi J, Robert C, et al. LIFEx: A Freeware for Radiomic Feature Calculation in Multimodality Imaging to Accelerate Advances in the Characterization of Tumor Heterogeneity. Cancer Res. 2018 Aug 15;78(16):4786–9. doi: 10.1158/0008-5472.CAN-18-0125
35. Zwanenburg A, Vallières M, Abdalah MA, Aerts HJWL, Andrearczyk V, Apte A, et al. The Image Biomarker Standardization Initiative: Standardized Quantitative Radiomics for High-Throughput Image-based Phenotyping. Radiology. 2020 May;295(2):328–38. doi: 10.1148/radiol.2020191145
36. Hiraki T, Mimura H, Gobara H, Shibamoto K, Inoue D, Matsui Y, et al. Incidence of and Risk Factors for Pneumothorax and Chest Tube Placement After CT Fluoroscopy–Guided Percutaneous Lung Biopsy: Retrospective Analysis of the

Procedures Conducted Over a 9-Year Period. American Journal of Roentgenology. 2010 Mar;194(3):809–14. doi: 10.2214/AJR.09.3224

37. Antunovic L, De Sanctis R, Cozzi L, Kirienko M, Sagona A, Torrisi R, et al. PET/CT radiomics in breast cancer: promising tool for prediction of pathological response to neoadjuvant chemotherapy. Eur J Nucl Med Mol Imaging. 2019 Jul;46(7):1468–77. doi: 10.1007/s00259-019-04313-8

38. Yeow K-M, Su I-H, Pan K-T, Tsay P-K, Lui K-W, Cheung Y-C, et al. Risk Factors of Pneumothorax and Bleeding. Chest. 2004 Sep;126(3):748–54. doi: 10.1378/chest.126.3.748

ANNEXES

Annexe 1. Directives 2010 sur la prise en charge du pneumothorax établies par la British Thoracic Society.

Situation clinique et radiologique		Décision
Pneumothorax de faible abondance (<2 cm entre le bord du poumon et la paroi thoracique) qui était stable sur le contrôle TDM à 5 minutes		Pas de drainage pleural
Pneumothorax de forte abondance (>2 cm entre le bord du poumon et la paroi thoracique) →Exsufflation avec un cathéter fin	Si résorption du pneumothorax sur contrôle TDM à 5min	Pas de drainage pleural
	Si le pneumothorax est stable ou majoré sur le contrôle TDM à 5min	Drainage pleural

Annexe 2. Tableau résumant les différentes solutions apportées pour valider la méthodologie du traitement (extraction et analyse) des données radiomiques au sein de l'étude, selon le score RQS (*Radiomics Quality Score).*

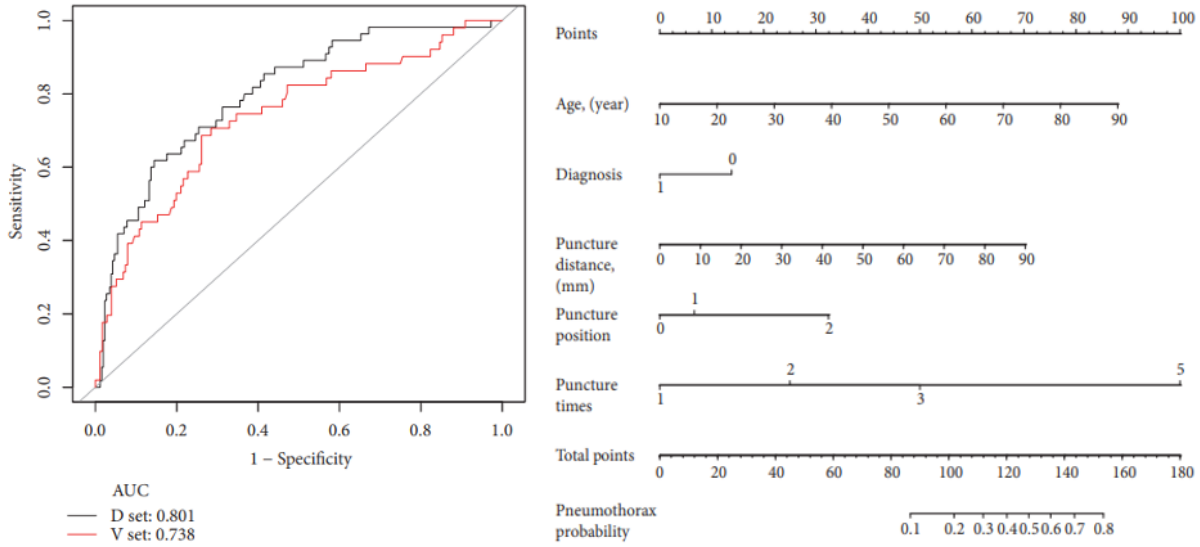
RQS item	Solutions fournies dans l'étude
1. Qualité du protocole d'imagerie	Les paramètres du protocole d'acquisition pour l'extraction des données radiomiques sont clairement définis dans la section "matériels et méthodes" et reproductibles.
2. Segmentations multiples	Les acquisitions ayant été réalisées en respiration spontanée sans instructions, les segmentations ont été effectuées à différents cycles respiratoires.
3. Étude sur fantôme	Pas d'étude sur fantôme
4. Imagerie à plusieurs moments	Les segmentations ont été réalisées à partir de différents cycles respiratoires.
5. Réduction des données ou ajustement des tests	Méthode *LASSO* dans le modèle de régression logistique ; Méthode *PCA* dans les modèles RNA et forêt d'arbres décisionnels
6. Analyse multivariable avec des caractéristiques non-radiomiques	Une analyse multivariable avec les critères classiques sans radiomiques a été réalisée à l'aide d'une régression logistique.
7. Corrélations biologiques	Données biologiques non étudiées
8. Analyse de seuils (*cut-off*)	Établissement d'un seuil de risque de pneumothorax par régression logistique et par méthode d'apprentissage automatique
9. Significativité des tests statistiques	Utilisation de courbes ROC, d'AUC et de méthode de *cross-validation*
10. Calibration des tests statistiques	Moyennes, médianes, fréquences, avec une valeur $p<0.05$ de significativité.
11. Étude prospective	Non (rétrospective)
12. Validation	Tests de validation interne réalisés
13. Comparaison au "gold standard"	Comparaison avec d'autres études décrivant des modèles prédictifs n'utilisant pas de critères radiomiques.
14. Application clinique potentielle	Une AUC inférieure à 0,80 ne permet pas d'utiliser le modèle utilisant les critères radiomiques comme outil prédictif du pneumothorax dans la pratique clinique.
15. Analyse coût-efficacité	L'objectif est de développer un outil permettant de déterminer une prise en charge en ambulatoire ou non.
16. Étude et données en libre accès	Utilisation d'un logiciel libre accès d'extraction de données radiomiques (LifeX).

Annexe 3. Caractéristiques des patients, des lésions et des biopsies.

	Classes	*Statistiques*	*Tous (n=559)*
Genre	Femme	n (%)	313 (56.0)
	Homme	n (%)	246 (44.0)
Age		n	559
		Moy (SD)	65.8 (11.9)
		Median [Min-Max]	67.0 [19.0-93.0]
	< 70 ans	n (%)	329 (58.9)
	>= 70 ans	n (%)	230 (41.1)
Taille de la lésion		n	558
		Moy (SD)	24.2 (18.3)
		Median [Min-Max]	18.0 [3.0-121.0]
	< 20 mm	n (%)	298 (53.4)
	>= 20 mm	n (%)	260 (46.6)
		Données manquantes	1
Longueur du trajet		n	552
		Moy (SD)	25.9 (15.5)
		Median [Min-Max]	23.0 [1.0-108.0]
	< 25 mm	n (%)	295 (53.4)
	>= 25 mm	n (%)	257 (46.6)
		Données manquantes	7
Durée de ponction		n	554
		Moy(SD)	10.1 (4.1)
		Median [Min-Max]	9.0 [1.0-28.0]
	< 10 min	n (%)	301 (54.3)
	>= 10 min	n (%)	253 (45.7)
		Données manquantes	5
Pourcentage emphysème		n	529
		Moy (SD)	1.5 (2.5)
		Median [Min-Max]	0.7 [0.0-29.0]
	>= 0.7%	n (%)	288 (54.4)
		Données manquantes	30
Petit angle		n	556

		Moy (SD)	57.8 (20.6)
		Median [Min-Max]	58.0 [1.0-98.0]
	< 60°	n (%)	288 (51.8)
	>= 60°	n (%)	268 (48.2)
Position	DD	n (%)	206 (36.9)
	DLD	n (%)	37 (6.6)
	PC	n (%)	270 (48.3)
	DLG	n (%)	46 (8.2)
Plat	DL	n (%)	83 (14.8)
	plat	n (%)	476 (85.2)
Procubitus	Non	n (%)	289 (51.7)
	Oui	n (%)	270 (48.3)
Antécédent de chirurgie	Non	n (%)	543 (97.1)
	Oui	n (%)	16 (2.9)
Lésion excavée	Non	n (%)	516 (93.5)
	Oui	n (%)	36 (6.5)
		Données manquantes	7
Scissure	Non	n (%)	536 (95.9)
	Oui	n (%)	23 (4.1)
Embolisation	Non	n (%)	132 (23.6)
	Oui	n (%)	427 (76.4)

Annexe 4. Modèle prédictif basé sur une méthode de régression logistique développée par Wang et *Al.* en 2019.



Annexe 5. Fiche d'information TRIPOD *(Transparent Reporting of a multivariable prediction model for Individual Prognosis Or Diagnosis)* décrivant la méthodologie à tenir dans le cadre du développement et de la validation des modèles de prédiction.

Section/Topic	Item	Checklist Item	Page
Title and abstract			
Title	1	Identify the study as developing and/or validating a multivariable prediction model, the target population, and the outcome to be predicted.	
Abstract	2	Provide a summary of objectives, study design, setting, participants, sample size, predictors, outcome, statistical analysis, results, and conclusions.	
Introduction			
Background and objectives	3a	Explain the medical context (including whether diagnostic or prognostic) and rationale for developing or validating the multivariable prediction model, including references to existing models.	
	3b	Specify the objectives, including whether the study describes the development or validation of the model or both.	
Methods			
Source of data	4a	Describe the study design or source of data (e.g., randomized trial, cohort, or registry data), separately for the development and validation data sets, if applicable.	
	4b	Specify the key study dates, including start of accrual; end of accrual; and, if applicable, end of follow-up.	
Participants	5a	Specify key elements of the study setting (e.g., primary care, secondary care, general population) including number and location of centres.	
	5b	Describe eligibility criteria for participants.	
	5c	Give details of treatments received, if relevant.	
Outcome	6a	Clearly define the outcome that is predicted by the prediction model, including how and when assessed.	
	6b	Report any actions to blind assessment of the outcome to be predicted.	
Predictors	7a	Clearly define all predictors used in developing or validating the multivariable prediction model, including how and when they were measured.	
	7b	Report any actions to blind assessment of predictors for the outcome and other predictors.	
Sample size	8	Explain how the study size was arrived at.	
Missing data	9	Describe how missing data were handled (e.g., complete-case analysis, single imputation, multiple imputation) with details of any imputation method.	
Statistical analysis methods	10a	Describe how predictors were handled in the analyses.	
	10b	Specify type of model, all model-building procedures (including any predictor selection), and method for internal validation.	
	10d	Specify all measures used to assess model performance and, if relevant, to compare multiple models.	
Risk groups	11	Provide details on how risk groups were created, if done.	
Results			
Participants	13a	Describe the flow of participants through the study, including the number of participants with and without the outcome and, if applicable, a summary of the follow-up time. A diagram may be helpful.	
	13b	Describe the characteristics of the participants (basic demographics, clinical features, available predictors), including the number of participants with missing data for predictors and outcome.	
Model development	14a	Specify the number of participants and outcome events in each analysis.	
	14b	If done, report the unadjusted association between each candidate predictor and outcome.	
Model specification	15a	Present the full prediction model to allow predictions for individuals (i.e., all regression coefficients, and model intercept or baseline survival at a given time point).	
	15b	Explain how to the use the prediction model.	
Model performance	16	Report performance measures (with CIs) for the prediction model.	
Discussion			
Limitations	18	Discuss any limitations of the study (such as nonrepresentative sample, few events per predictor, missing data).	
Interpretation	19b	Give an overall interpretation of the results, considering objectives, limitations, and results from similar studies, and other relevant evidence.	
Implications	20	Discuss the potential clinical use of the model and implications for future research.	
Other information			
Supplementary information	21	Provide information about the availability of supplementary resources, such as study protocol, Web calculator, and data sets.	
Funding	22	Give the source of funding and the role of the funders for the present study.	

ABSTRACT

Purpose
To evaluate the additional value of traditional radiomics and machine learning-based radiomics in the development of predictive models for immediate pneumothorax after computed tomography-guided percutaneous lung biopsy (CT-PLB).

Materials and methods
All patients undergoing CT-PLB between January 2018 and March 2021 were included. Classic risk factors were collected (age, sex, tumor size…). The needle track was manually segmented from the initial CT acquisition (identical CT and protocol: tube voltage 100 kV; tube current 35mA) and radiomics features were extracted with an opensource software following the IBSI guidelines. The primary endpoint was the prediction of immediate pneumothorax. Predictive models were developed using logistic regression with classic risk factors alone and associated with radiomics features (traditional radiomics). For machine learning based radiomics, artificial neural network and Random Forest classifier were used.

Results
559 patients were included. 29% (162/559) presented a pneumothorax, 3.5% (20/559) chest tube insertion. Fisher's exact test identified significant factors: age ($p<.05$), puncture duration ($p<.01$), patient position ($p<.05$), scissural track ($p<.0001$), track embolization ($p<.0001$). In logistic regression, the model with both classical and radiomics data had the best performance: AUC = 0.6494. The random forest classifier was the best performing (accuracy: 0.69). This algorithm identified crucial predictive parameters: biopsy track length, age, emphysema rate, angle between needle and chest wall, major axis of the biopsied tumor and puncture duration.

Conclusion
Traditional radiomics had a modest contribution to predictive models of immediate pneumothorax after CT-PLB. Machine learning based radiomics seemed to have the best performances.

KEYWORDS
CT-guided percutaneous lung biopsy
Pneumothorax
Predictive model
Radiomics
Track embolization

RÉSUMÉ

Objectif
Évaluer l'apport de la radiomique traditionnelle et de la radiomique basée sur l'apprentissage automatique dans le développement de modèles prédictifs de pneumothorax après une biopsie pulmonaire percutanée guidée par tomodensitométrie (BP-TDM).

Matériels et méthodes
Tous les patients qui ont bénéficié d'une biopsie pulmonaire percutanée ont été inclus. Les facteurs de risque classiques de pneumothorax ont été recueillis (âge, sexe, taille du nodule...). Une segmentation des trajets biopsiques a été réalisée manuellement à partir de l'acquisition TDM initiale (un seul scanner et un protocole identique : voltage du tube 100 kV ; courant du tube 35mA) et les caractéristiques radiomiques ont été extraites avec un logiciel en libre-accès (Life X) selon les directives de l'IBSI. Le critère d'évaluation principal était la prédiction de survenue d'un pneumothorax immédiat sur des contrôles TDM effectués à la fin des procédures. Des modèles prédictifs ont été développés par régression logistique pour les facteurs de risque classiques et les facteurs de risque combinés classiques et radiomiques. Des modèles basés sur l'apprentissage automatique ont été développés utilisant un réseau de neurones artificiels et une forêt d'arbres décisionnels.

Résultats
559 patients ont été inclus entre janvier 2018 et mars 2021. 29% (162/559) des patients ont présenté un pneumothorax. Le test exact de Fisher a identifié des facteurs de risque significatifs : l'âge ($p<0,05$), la durée de la ponction ($p<0,01$), la position du patient (décubitus ventral ou dorsal versus décubitus latéral) ($p<0,05$), le trajet trans scissural ($p<0,0001$) et l'absence d'embolisation du trajet ($p<0,0001$). Par régression logistique, le meilleur modèle prenait en compte les données combinées classiques et radiomiques : AUC = 0,6494 pour la cohorte de test. La forêt d'arbres décisionnels a été le plus performant avec une précision de 0,69. Cet algorithme a identifié des paramètres prédictifs cruciaux : longueur du trajet biopsique, âge, taux d'emphysème, angle de ponction, taille du nodule et durée de ponction.

Conclusion
La radiomique traditionnelle a une contribution modeste aux modèles prédictifs du pneumothorax immédiat après BP-TDM. La radiomique basée sur l'apprentissage automatique semble avoir les meilleures performances.

MOTS-CLÉS
Biopsie pulmonaire percutanée guidée par TDM
Pneumothorax
Modèle prédictif
Radiomique
Embolisation du trajet biopsique

SERMENT D'HIPPOCRATE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ORDRE NATIONAL DES MÉDECINS
Conseil National de l'Ordre

RÉSUMÉ

Objectif
Évaluer l'apport de la radiomique traditionnelle et de la radiomique basée sur l'apprentissage automatique dans le développement de modèles prédictifs de pneumothorax après une biopsie pulmonaire percutanée guidée par tomodensitométrie (BP-TDM).

Matériels et méthodes
Tous les patients qui ont bénéficié d'une biopsie pulmonaire percutanée ont été inclus. Les facteurs de risque classiques de pneumothorax ont été recueillis (âge, sexe, taille du nodule...). Une segmentation des trajets biopsiques a été réalisée manuellement à partir de l'acquisition TDM initiale (un seul scanner et un protocole identique : voltage du tube 100 kV ; courant du tube 35mA) et les caractéristiques radiomiques ont été extraites avec un logiciel en libre-accès (Life X) selon les directives de l'IBSI. Le critère d'évaluation principal était la prédiction de survenue d'un pneumothorax immédiat sur des contrôles TDM effectués à la fin des procédures. Des modèles prédictifs ont été développés par régression logistique pour les facteurs de risque classiques et les facteurs de risque combinés classiques et radiomiques. Des modèles basés sur l'apprentissage automatique ont été développés utilisant un réseau de neurones artificiels et une forêt d'arbres décisionnels.

Résultats
559 patients ont été inclus entre janvier 2018 et mars 2021. 29% (162/559) des patients ont présenté un pneumothorax. Le test exact de Fisher a identifié des facteurs de risque significatifs : l'âge ($p<0,05$), la durée de la ponction ($p<0,01$), la position du patient (décubitus ventral ou dorsal versus décubitus latéral) ($p<0,05$), le trajet trans scissural ($p<0,0001$) et l'absence d'embolisation du trajet ($p<0,0001$). Par régression logistique, le meilleur modèle prenait en compte les données combinées classiques et radiomiques : AUC = 0,6494 pour la cohorte de test. La forêt d'arbres décisionnels a été le plus performant avec une précision de 0,69. Cet algorithme a identifié des paramètres prédictifs cruciaux : longueur du trajet biopsique, âge, taux d'emphysème, angle de ponction, taille du nodule et durée de ponction.

Conclusion
La radiomique traditionnelle a une contribution modeste aux modèles prédictifs du pneumothorax immédiat après BP-TDM. La radiomique basée sur l'apprentissage automatique semble avoir les meilleures performances.

MOTS-CLÉS
Biopsie pulmonaire percutanée guidée par TDM
Pneumothorax
Modèle prédictif
Radiomique
Embolisation du trajet biopsique