



**HAL**  
open science

# 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 & PARAMÉDICALES

<b>Doyen</b>	:	<b>Pr. Georges LEONETTI</b>
Vice-Doyen aux affaires générales	:	Pr. Patrick DESSI
Vice-Doyen aux professions paramédicales	:	Pr. Philippe BERBIS
Conseiller	:	Pr. Patrick VILLANI
<b>Assesseurs :</b>		
➤ 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 GRILLON

## ÉCOLE DE MEDECINE

<b>Directeur</b>	:	<b>Pr. Jean-Michel VITON</b>
------------------	---	------------------------------

### **Chargés de mission**

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



### ÉCOLE DE DE MAIEUTIQUE

**Directrice** : **Madame Carole ZAKARIAN**

**Chargés de mission**

- 1<sup>er</sup> cycle : Madame Estelle BOISSIER
- 2<sup>ème</sup> cycle : Madame Cécile NINA

### ÉCOLE DES SCIENCES DE LA RÉADAPTATION

**Directeur** : **Monsieur Philippe SAUVAGEON**

**Chargés de mission**

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

### ÉCOLE DES SCIENCES INFIRMIERES

**Directeur** : **Monsieur Sébastien COLSON**

**Chargés de mission**

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

## PROFESSEURS HONORAIRES

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

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

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

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

VANUXEM Paul  
VERVLOET Daniel  
VIALETES Bernard  
WEILLER Pierre-Jean

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

## EMERITAT

### 2008

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

### 2009

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

### 2010

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

### 2011

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

### 2012

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

### 2013

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

### 2014

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

**2015**

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

**2016**

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

**2017**

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

**2018**

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

**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

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

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

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

**2000**

MM. les Professeurs

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

**2001**

MM. les Professeurs

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

**2002**

MM. les Professeurs

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

**2003**

M. le Professeur  
Sir

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

**2004**

M. le Professeur

M. DAKE (U.S.A.)

**2005**

M. le Professeur

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

**2006**

M. le Professeur

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

**2007**

M. le Professeur

S. KAUFMANN (Allemagne)

## PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

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

## PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

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

### PROFESSEUR DES UNIVERSITES

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

### PROFESSEUR CERTIFIE

*BRANDENBURGER Chantal retraite mars 2021*  
FRAISSE-MANGIALOMINI Jeanne

### PROFESSEUR DES UNIVERSITES ASSOCIE à MI-TEMPS

REVIS Joana

### PROFESSEUR DES UNIVERSITES MEDECINE GENERALE

GENTILE Gaëtan

### PROFESSEUR ASSOCIE DE MEDECINE GENERALE

GUIDA Pierre

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

## MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

(mono-appartenants)

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

## MAITRE DE CONFERENCES DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE

CASANOVA Ludovic

## MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES DE MEDECINE GENERALE à MI-TEMPS

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

**MAITRE DE CONFERENCES ASSOCIE à MI-TEMPS**

BOURRIQUEN Maryline

EVANS-VIALLAT Catherine

LAZZAROTTO Sébastien

LUCAS Guillaume

MATHIEU Marion

MAYENS-RODRIGUES Sandrine

MELLINAS Marie

ROMAN Christophe

TRINQUET Laure

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

**ANATOMIE 4201**

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

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

THOLLON Lionel (MCF) (60ème section)

**ANATOMIE ET CYTOLOGIE PATHOLOGIQUES 4203**

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

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

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

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

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

**ANTHROPOLOGIE 20**

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

**BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE ; HYGIENE HOSPITALIERE 4501**

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

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

CHABRIERE Eric (PR) (64ème section)

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

**BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLECULAIRE 4401**

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

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

**ANGLAIS 11**

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

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

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

**BIOLOGIE CELLULAIRE 4403**

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

**BIOPHYSIQUE ET MEDECINE NUCLEAIRE 4301**

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

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

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

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

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

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

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

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

**CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE 5002**

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

**CANCEROLOGIE : RADIOTHERAPIE 4702**

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

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

**CARDIOLOGIE 5102**

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

**CHIRURGIE VISCERALE ET DIGESTIVE 5202**

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

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

**CHIRURGIE INFANTILE 5402**

*GUYS Jean-Michel (PU-PH) Surnombre*  
 JOUVE Jean-Luc (PU-PH)  
 LAUNAY Franck (PU-PH)  
 MERROT Thierry (PU-PH)  
 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 PLASTIQUE,****RECONSTRUCTRICE ET ESTHETIQUE ; BRÛLOGIE 5004**

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

**CHIRURGIE VASCULAIRE ; MEDECINE VASCULAIRE 5104**

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

**GASTROENTEROLOGIE ; HEPATOLOGIE ; ADDICTOLOGIE 5201**

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

**HISTOLOGIE, EMBRYOLOGIE ET CYTOGENETIQUE 4202**

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

GONZALEZ Jean-Michel (MCU-PH)

**DERMATOLOGIE - VENEREOLOGIE 5003**

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

**GENETIQUE 4704**

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

**DUSI**

COLSON Sébastien (MCF)

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

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

**GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE ; GYNECOLOGIE MEDICALE 5403**

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

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

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

**EPIDEMIOLOGIE, ECONOMIE DE LA SANTE ET PREVENTION 4601**

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/MITTE Joëlle (MCU-PH)  
 DESPLAT/JEGO Sophie (MCU-PH)  
 ROBERT Philippe (MCU-PH)  
 VELY Frédéric (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)

**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 ET SANTE AU TRAVAIL 4602**

LEHUCHER/MICHEL Marie-Pascale (PU-PH)

SARI/MINODIER Irène (MCU-PH)

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

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

BENYAMINE Audrey (MCU-PH)

**MEDECINE GENERALE 5303**

GENTILE Gaëtan (PR Méd. Gén. Temps plein)

CASANOVA Ludovic (MCF Méd. Gén. Temps plein)

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

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

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

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

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

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

ROUSSEAU-DURAND Raphaëlle (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps) DUFOUR Henry (PU-PH)

THERY Didier (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps) (nomination au 1/10/2020) FUENTES Stéphane (PU-PH)

**NUTRITION 4404**

DARMON Patrice (PU-PH)

RACCAH Denis (PU-PH)

VALERO René (PU-PH)

ATLAN Catherine (MCU-PH) disponibilité

BELIARD Sophie (MCU-PH)

MARANINCHI Marie (MCF) (66ème section)

**ONCOLOGIE 65 (BIOLOGIE CELLULAIRE)**

CHABANNON Christian (PR) (66ème section)

SOBOL Hagay (PR) (65ème section)

**OPHTALMOLOGIE 5502**

DAVID Thierry (PU-PH)

DENIS Danièle (PU-PH)

**OTO-RHINO-LARYNGOLOGIE 5501**

DESSI Patrick (PU-PH)

FAKHRY Nicolas (PU-PH)

GIOVANNI Antoine (PU-PH)

LAVIEILLE Jean-Pierre (PU-PH)

MICHEL Justin (PU-PH)

NICOLLAS Richard (PU-PH)

TRIGLIA Jean-Michel (PU-PH)

RADULESCO Thomas (MCU-PH)

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

**NEPHROLOGIE 5203**

BRUNET Philippe (PU-PH)

BURTEY Stéphanne (PU-PH)

DUSSOL Bertrand (PU-PH)

JOURDE CHICHE Noémie (PU PH)

ROBERT Thomas (MCU-PH)

**NEUROCHIRURGIE 4902**

DUFOUR Henry (PU-PH)

FUENTES Stéphane (PU-PH)

REGIS Jean (PU-PH)

ROCHE Pierre-Hugues (PU-PH)

SCAVARDA Didier (PU-PH)

CARRON Romain (MCU PH)

GRAILLON Thomas (MCU PH)

**NEUROLOGIE 4901**

ATTARIAN Sharham (PU PH)

AUDOIN Bertrand (PU-PH)

AZULAY Jean-Philippe (PU-PH)

CECCALDI Mathieu (PU-PH)

EUSEBIO Alexandre (PU-PH)

FELICIAN Olivier (PU-PH)

PELLETIER Jean (PU-PH)

MAAROUF Adil (MCU-PH)

**PEDOPSYCHIATRIE; ADDICTOLOGIE 4904**

DA FONSECA David (PU-PH)

POINSO François (PU-PH)

GUIVARCH Jokthan (MCU-PH)

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

BLIN Olivier (PU-PH)

MICALLEF/ROLL Joëlle (PU-PH)

SIMON Nicolas (PU-PH)

BOULAMERY Audrey (MCU-PH)

**PARASITOLOGIE ET MYCOLOGIE 4502****PHILOSOPHIE 17**

RANQUE Stéphane (PU-PH)

LE COZ Pierre (PR) (17ème section)

CASSAGNE Carole (MCU-PH)

MATHIEU Marion (MAST)

L'OLLIVIER Coralie (MCU-PH)

TOGA Isabelle (MCU-PH)

**PEDIATRIE 5401****PHYSIOLOGIE 4402**

ANDRE Nicolas (PU-PH)

BARTOLOMEI Fabrice (PU-PH)

BARLOGIS Vincent (PU-PH)

BREGEON Fabienne (PU-PH)

CHAMBOST Hervé (PU-PH)

GABORIT Bénédicte (PU-PH)

DUBUS Jean-Christophe (PU-PH)

MEYER/DUTOUR Anne (PU-PH)

FABRE Alexandre (PU-PH)

TREBUCHON/DA FONSECA Agnès (PU-PH)

GIRAUD/CHABROL Brigitte (PU-PH)

BONINI Francesca (MCU-PH)

MICHEL Gérard (PU-PH)

BOULLU/CIOCCA Sandrine (MCU-PH)

MILH Mathieu (PU-PH)

*DADOUN Frédéric (MCU-PH) (disponibilité)*

OVAERT-REGGIO Caroline (PU-PH)

DELLIAUX Stéphane (MCU-PH)

REYNAUD Rachel (PU-PH)

LAGARDE Stanislas (MCU-PH)

TSIMARATOS Michel (PU-PH)

TOSELLO Barthélémy (MCU-PH)

RUEL Jérôme (MCF) (69ème section)

THIRION Sylvie (MCF) (66ème section)

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

BAILLY Daniel (PU-PH)

ASTOUL Philippe (PU-PH)

LANCON Christophe (PU-PH)

BARLESI Fabrice (PU-PH)

NAUDIN Jean (PU-PH)

CHANEZ Pascal (PU-PH)

RICHIERI Raphaëlle (PU-PH)

CERMOLACCE Michel (MCU-PH)

GREILLIER Laurent (PU PH)

REYNAUD/GAUBERT Martine (PU-PH)

**PSYCHOLOGIE - PSYCHOLOGIE CLINIQUE, PCYCHOLOGIE SOCIALE 16**

TOMASINI Pascale (MCU-PH)

AGHABABIAN Valérie (PR)

LAZZAROTTO Sébastien (MAST)

**RADIOLOGIE ET IMAGERIE MEDICALE 4302****RHUMATOLOGIE 5001**

BARTOLI Jean-Michel (PU-PH)

GUIS Sandrine (PU-PH)

CHAGNAUD Christophe (PU-PH)

LAFFORGUE Pierre (PU-PH)

CHAUMOITRE Kathia (PU-PH)

PHAM Thao (PU-PH)

GIRARD Nadine (PU-PH)

ROUDIER Jean (PU-PH)

JACQUIER Alexis (PU-PH)

MOULIN Guy (PU-PH)

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

PETIT Philippe (PU-PH)

AMBROSI Pierre (PU-PH)

VAROQUAUX Arthur Damien (PU-PH)

VILLANI Patrick (PU-PH)

VIDAL Vincent (PU-PH)

STELLMANN Jan-Patrick (MCU-PH)

DAUMAS Aurélie (MCU-PH)

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

GAINNIER Marc (PU-PH)

BASTIDE Cyrille (PU-PH)

GERBEAUX Patrick (PU-PH)

KARSENTY Gilles (PU-PH)

PAPAZIAN Laurent (PU-PH)

LECHEVALLIER Eric (PU-PH)

ROCH Antoine (PU-PH)

ROSSI Dominique (PU-PH)

HRAIECH Sami (MCU-PH)

# Remerciements

## **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-matches 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 Mairaine**, 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 pâtes 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 traînent 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 boîte. Même si ta chaîne 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'occasion 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.

**Connex**, 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, Maëliiss, 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-rentree, une autre époque). Chloé, toujours à l'autre bout du monde, j'espère que tu te régales. Geoffrey pour les regalades 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 régalaade. 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 Draï, 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 Matthieu 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

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>2</b>
<b>MATÉRIELS ET MÉTHODES</b> .....	<b>4</b>
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
<b>RÉSULTATS</b> .....	<b>11</b>
POPULATION ETUDIEE .....	11
ANALYSES UNIVARIEES .....	12
PERFORMANCE DES MODELES : REGRESSION LOGISTIQUE, RESEAU DE NEURONES ARTIFICIELS ET FORETS D'ARBRES DECISIONNELS.....	14
<b>DISCUSSION</b> .....	<b>19</b>
<b>CONCLUSION</b> .....	<b>23</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	<b>24</b>
<b>ANNEXES</b> .....	<b>29</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>35</b>
<b>RÉSUMÉ</b> .....	<b>36</b>

## 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).

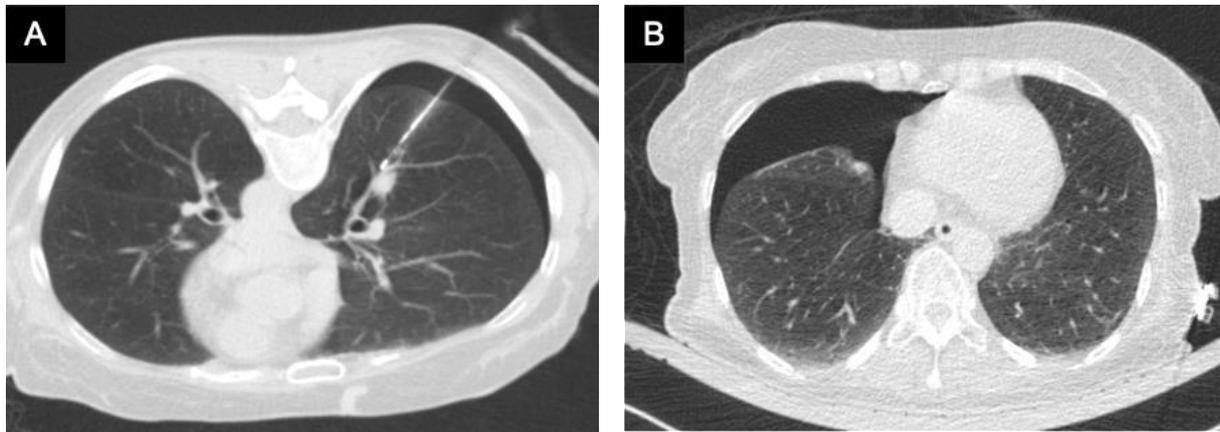
L'activité en ambulatoire et en hospitalisation de jour est aujourd'hui largement développée en chirurgie (7)(8), mais sa possibilité et ses applications dans les procédures de radiologie interventionnelle restent cependant peu étudiées.

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 coupes 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 soignée 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.

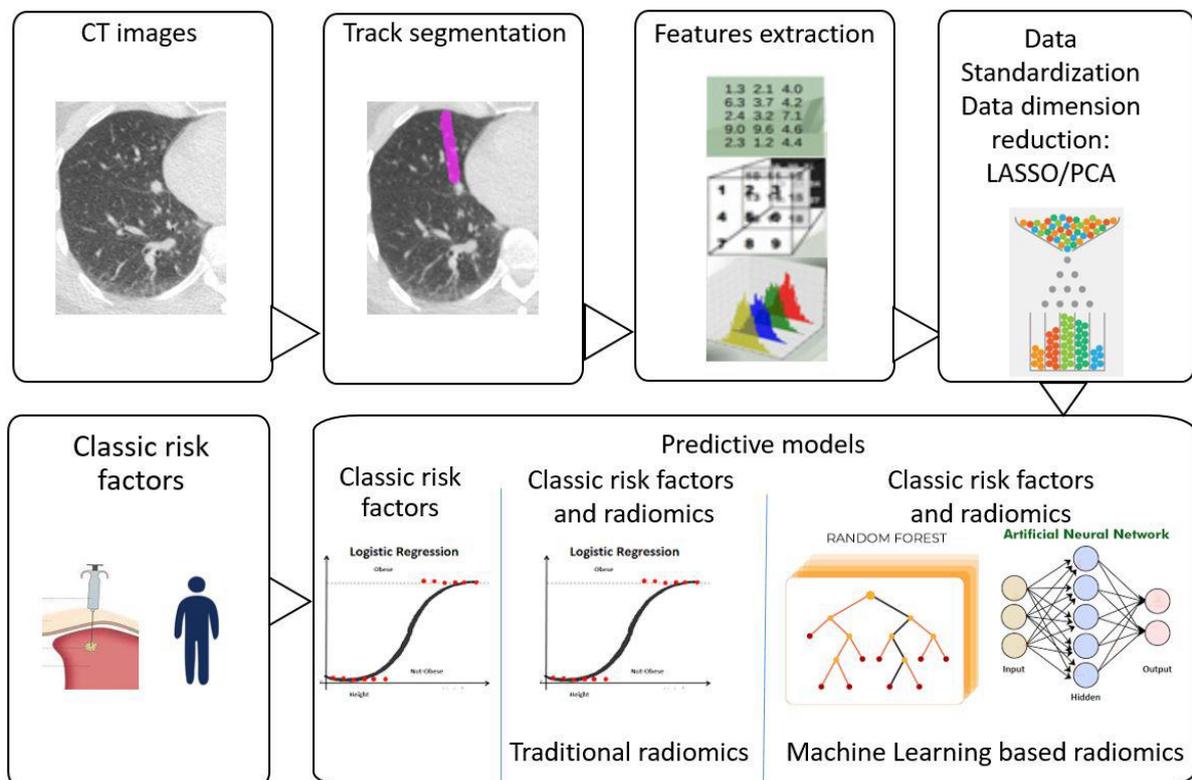
### ***Collecte des données***

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).

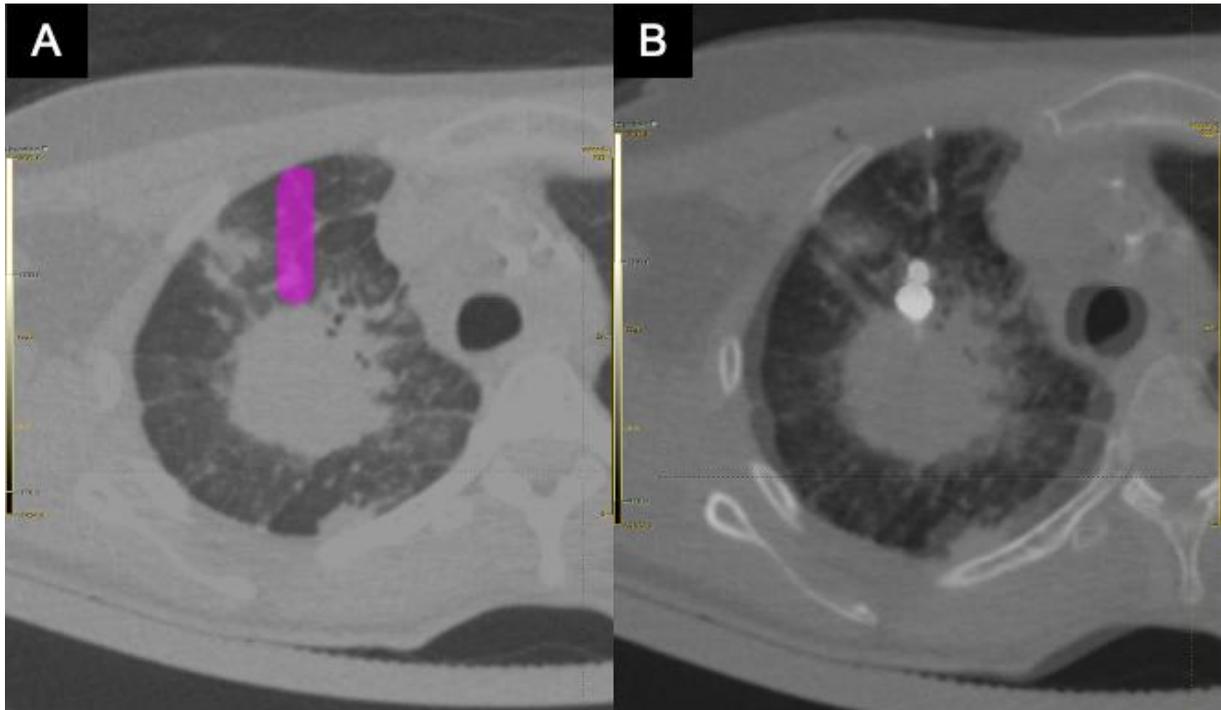
Deux lecteurs expérimentés ont mesuré les pourcentages d'emphysème pulmonaire sur l'acquisition TDM initiale (paramètres détaillés ci-dessus). Un logiciel de mesure automatique disponible dans le commerce a été utilisé pour la quantification de l'emphysème (Myrian®, Intrasense, Paris, France). Le logiciel 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](http://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'entraînement (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'entraînement (56 %), ensemble de test (30 %) et ensemble de validation (14 %).

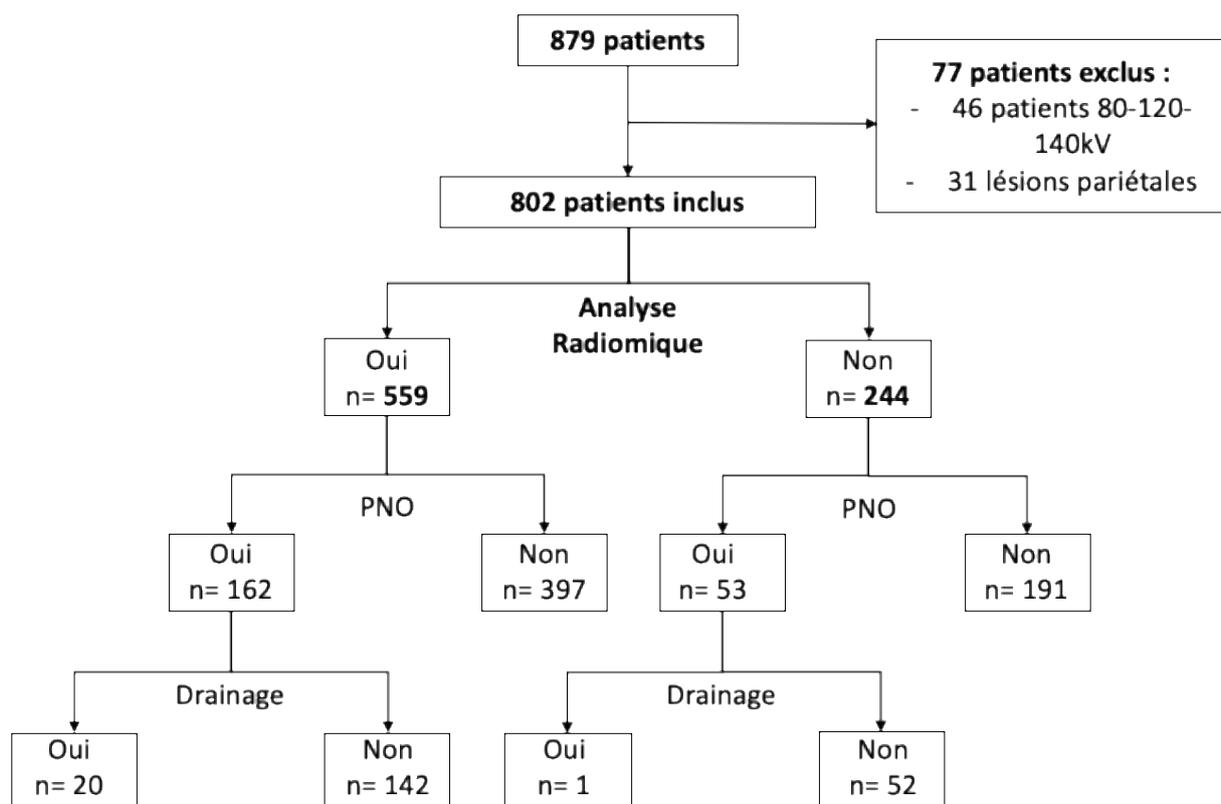
La régression logistique a été mise en œuvre à l'aide de la procédure HPGENSELECT du logiciel SAS. La procédure HPGENSELECT fournit des méthodes de modèles linéaires généralisés. Dans l'édition de J. Nelder et R. Wedderburn, le modèle linéaire généralisé prend en charge la régression logistique. Le réseau 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 diluée dans le produit de contraste iodé apparaît 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 $\chi^2$ )
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	<b>0.0285</b>
		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	<b>0.0041</b>
		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)	<b>0.0183</b>
	>= 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	
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)	<b>0.0266</b>
	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)	

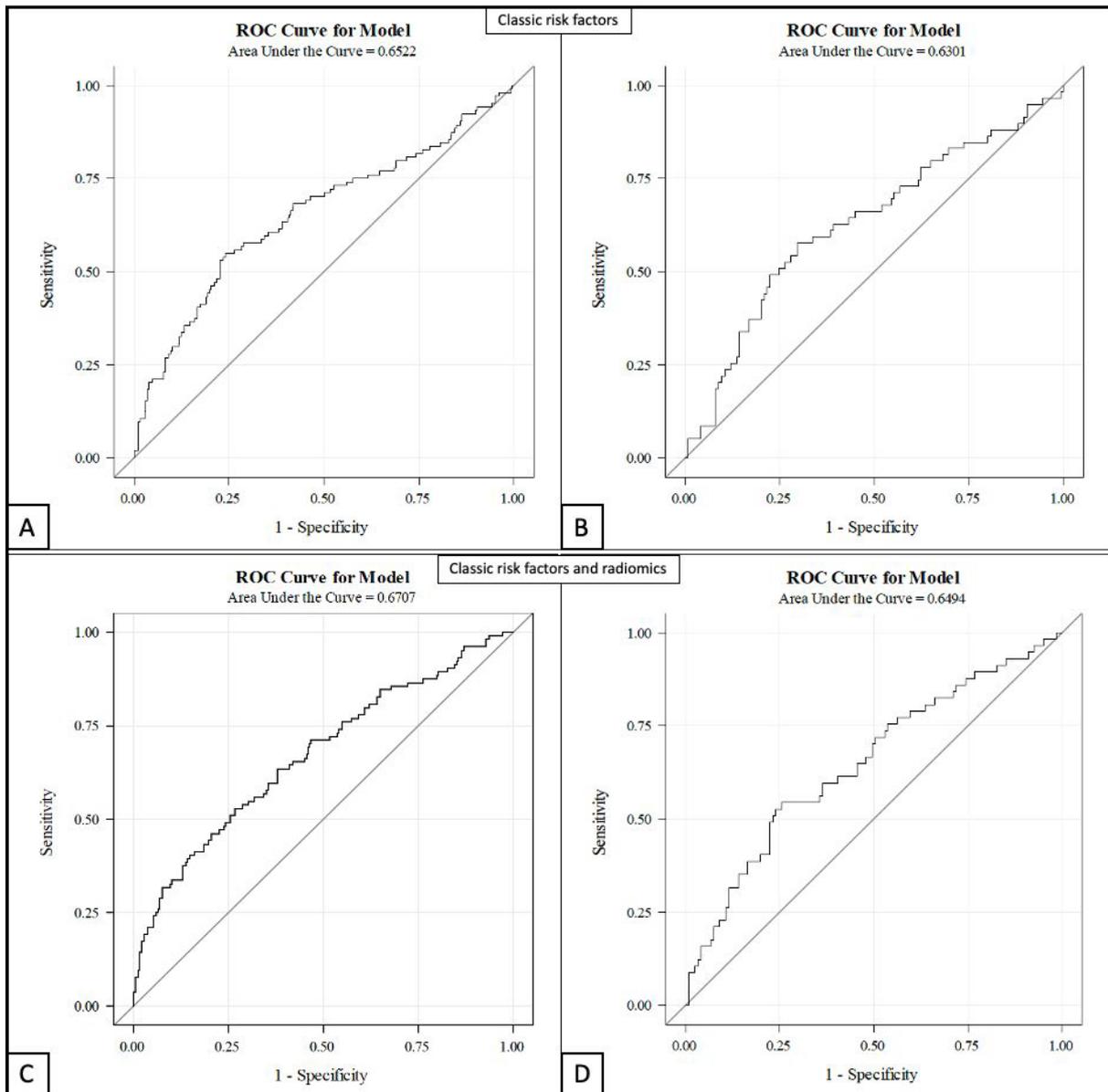
Antécédent de chirurgie	Non	n (%)	543 (97.1)	381 (96.7)	162 (98.2)	0.3380
	Oui	n (%)	16 (2.9)	13 (3.3)	3 (1.8)	
Lésion excavée	Non	n (%)	516 (93.5)	366 (94.1)	150 (92.0)	0.3706
	Oui	n (%)	36 (6.5)	23 (5.9)	13 (8.0)	
		Données manquantes	7	5	2	
Scissure	Non	n (%)	536 (95.9)	388 (98.5)	148 (89.7)	<.0001
	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***

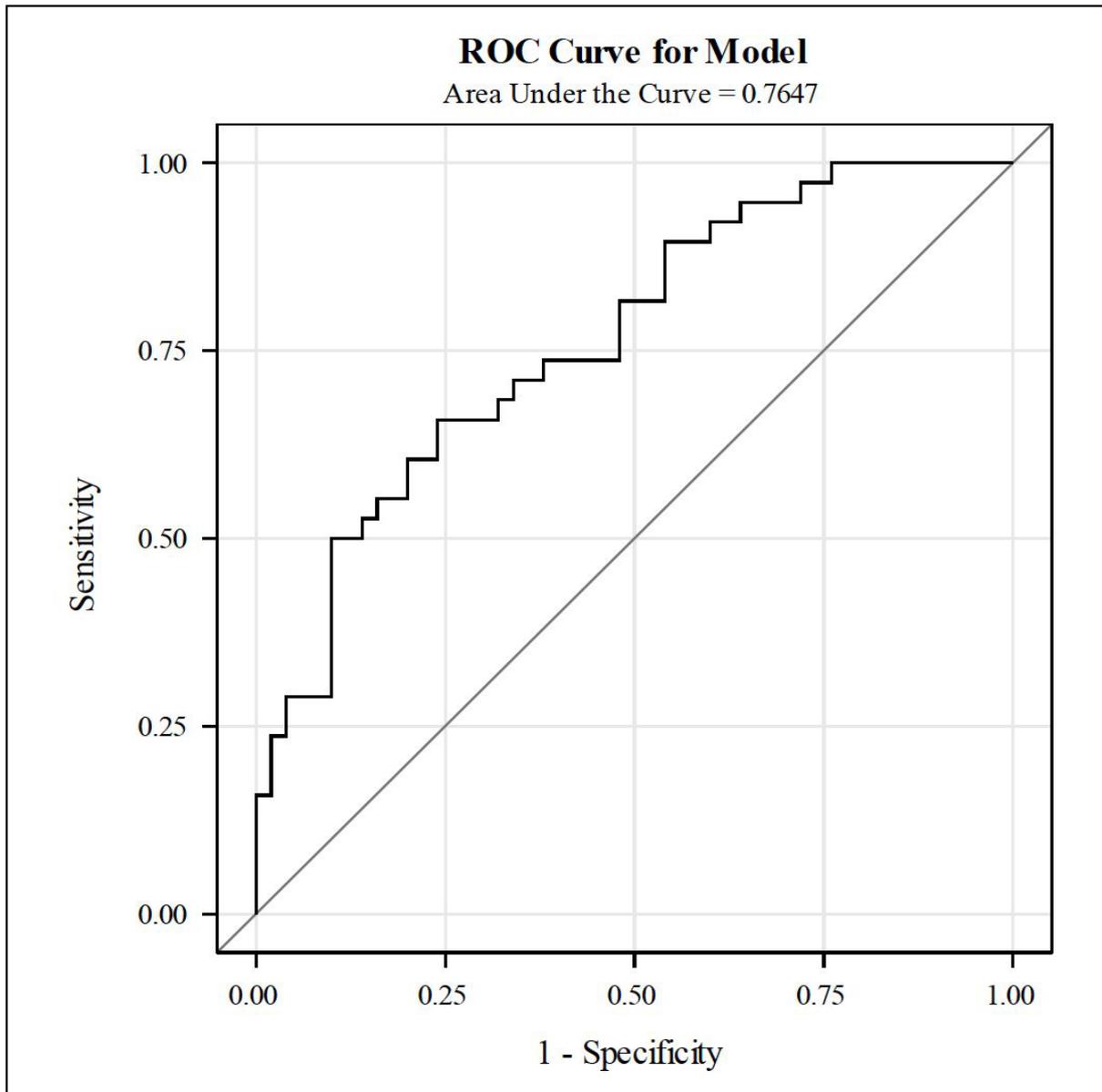
Aucun des modèles testés n'a montré une aire sous la courbe (AUC) supérieure à 80 %, 80 % étant le niveau jugé nécessaire pour l'application d'un modèle prédictif en pratique clinique. Comme le montre la figure 5, l'aire sous la courbe du modèle prédictif incluant les facteurs non radiomiques était de 0,6522 dans la cohorte d'entraînement 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'entraînement 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'entraînement) et B (cohorte de test) intègrent les facteurs de risque classiques de pneumothorax. Les courbes C (cohorte d'entraînement) 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).

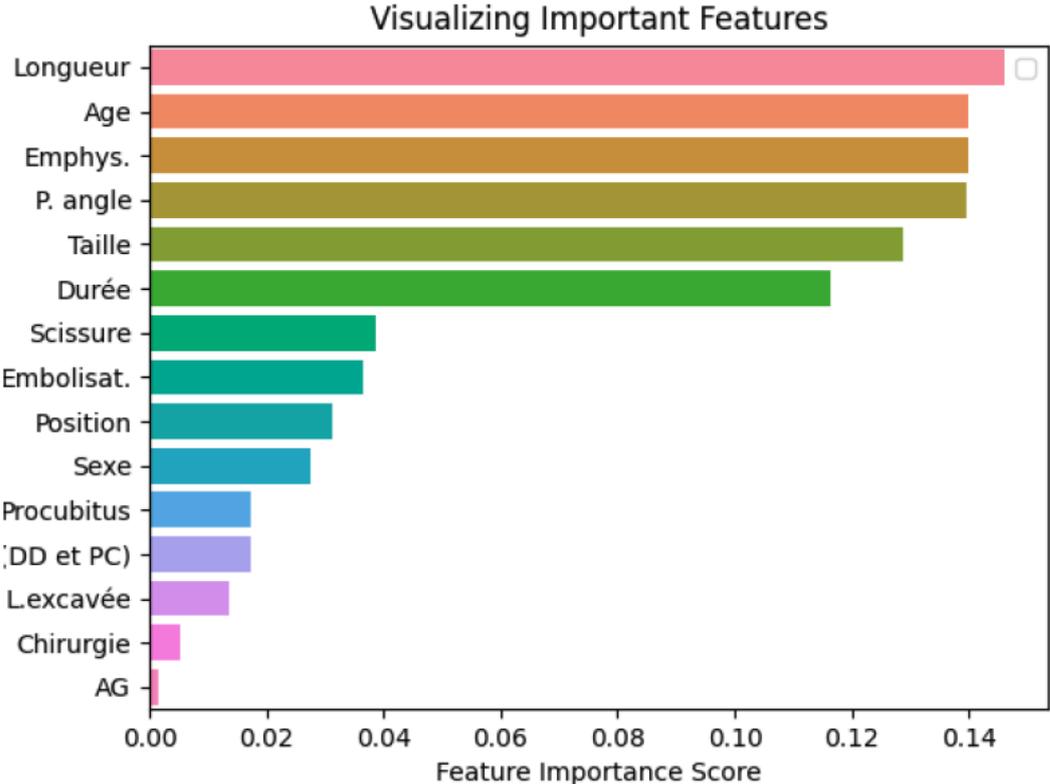
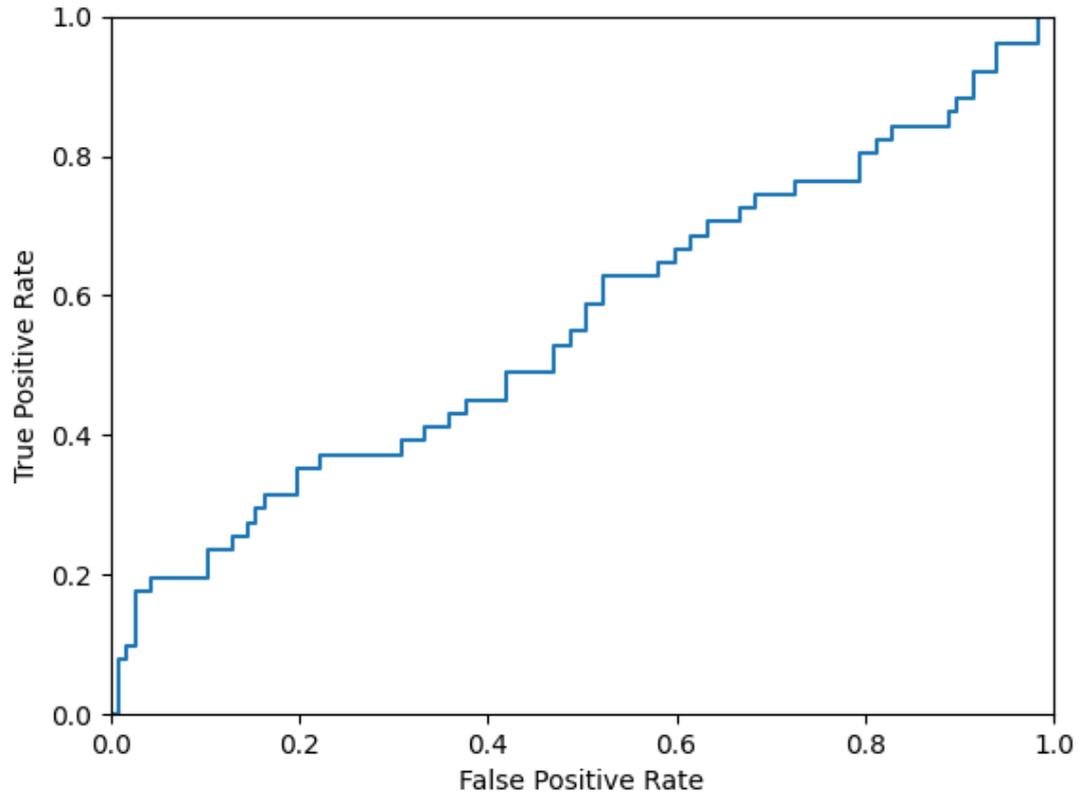


Tableau croisé pour l'ensemble de test  
Précision = 0.696

	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'entraînement (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 intrapulmonary 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, Aytakin 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, Orhac 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*).

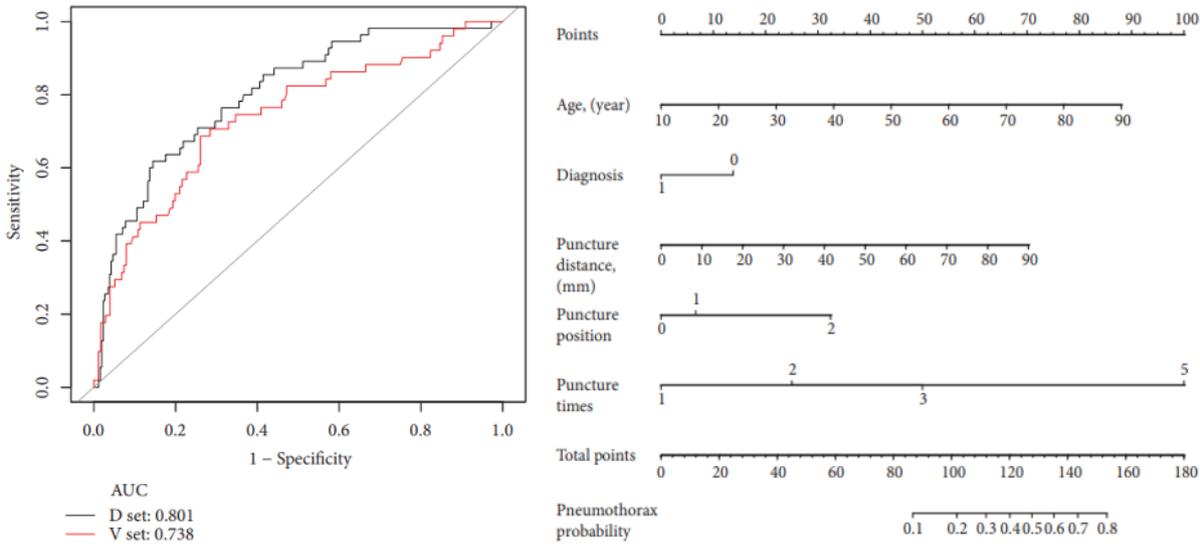
RQS item	Solutions fournies dans l'étude
1. Qualité du protocole d'imagerie	Les paramètres du protocole d'acquisition pour l'extraction des données radiomiques sont clairement définis dans la section "matériels et méthodes" et reproductibles.
2. Segmentations multiples	Les acquisitions ayant été réalisées 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 <i>LASSO</i> dans le modèle de régression logistique ; Méthode <i>PCA</i> 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 ( <i>cut-off</i> )	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 <i>cross-validation</i>
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
<b>Title and abstract</b>			
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.	
<b>Introduction</b>			
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.	
<b>Methods</b>			
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.	
<b>Results</b>			
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 use the prediction model.	
Model performance	16	Report performance measures (with CIs) for the prediction model.	
<b>Discussion</b>			
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.	
<b>Other information</b>			
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 mœurs.

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

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

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

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



# 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