



HAL
open science

Valeur de la radiomique pour la caractérisation des masses mammaires en IRM, en comparaison avec la classification BI-RADS et l'histologie comme référence

Kawtar Debbi

► **To cite this version:**

Kawtar Debbi. Valeur de la radiomique pour la caractérisation des masses mammaires en IRM, en comparaison avec la classification BI-RADS et l'histologie comme référence. Sciences du Vivant [q-bio]. 2021. dumas-03370437

HAL Id: dumas-03370437

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03370437>

Submitted on 8 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

**Valeur de la radiomique pour la caractérisation des masses mammaires en
IRM, en comparaison avec la classification BI-RADS et l'histologie comme
référence.**

T H E S E

Présentée et publiquement soutenue devant

LA FACULTÉ DES SCIENCES MEDICALES ET PARAMEDICALES

DE MARSEILLE

Le 22 Septembre 2021

Par Madame Kawtar DEBBI

Née le 24 septembre 1991 à Bordeaux (33)

Pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

D.E.S. de RADIODIAGNOSTIC ET IMAGERIE MÉDICALE

Membres du Jury de la Thèse :

Monsieur le Professeur JACQUIER Alexis

Président

Monsieur le Professeur PETIT Philippe

Assesseur

Monsieur le Professeur VIDAL Vincent

Assesseur

Madame le Docteur GROB Anaïs

Assesseur



Faculté des sciences
médicales et paramédicales
Aix-Marseille Université

**Valeur de la radiomique pour la caractérisation des masses mammaires en
IRM, en comparaison avec la classification BI-RADS et l'histologie comme
référence.**

T H E S E

Présentée et publiquement soutenue devant

LA FACULTÉ DES SCIENCES MEDICALES ET PARAMEDICALES

DE MARSEILLE

Le 22 Septembre 2021

Par Madame Kawtar DEBBI

Née le 24 septembre 1991 à Bordeaux (33)

Pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

D.E.S. de RADIODIAGNOSTIC ET IMAGERIE MÉDICALE

Membres du Jury de la Thèse :

Monsieur le Professeur JACQUIER Alexis

Président

Monsieur le Professeur PETIT Philippe

Assesseur

Monsieur le Professeur VIDAL Vincent

Assesseur

Madame le Docteur GROB Anaïs

Assesseur

FACULTÉ DES SCIENCES MÉDICALES & PARAMÉDICALES

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

Assesseurs :

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

Chargés de mission :

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

ÉCOLE DE MEDECINE

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

Chargés de mission

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

ÉCOLE DE DE MAIEUTIQUE

Directrice : **Madame Carole ZAKARIAN**

Chargés de mission

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

ÉCOLE DES SCIENCES DE LA RÉADAPTATION

Directeur : **Monsieur Philippe SAUVAGEON**

Chargés de mission

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

ÉCOLE DES SCIENCES INFIRMIERES

Directeur : **Monsieur Sébastien COLSON**

Chargés de mission

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

PROFESSEURS HONORAIRES

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

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

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

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

VANUXEM Paul
VERVLOET Daniel
VIALETTES Bernard
WEILLER Pierre-Jean

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

EMERITAT

2008

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

2009

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

2010

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

2011

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

2012

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

2013

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

2014

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

2015

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

2016

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

2017

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

2018

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

2019

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

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

2020

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

Honoris causa

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

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

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

2000

MM. les Professeurs

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

2001

MM. les Professeurs

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

2002

MM. les Professeurs

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

2003

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

PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

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

PROFESSEUR DES UNIVERSITES

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

PROFESSEUR CERTIFIE

BRANDENBURGER Chantal retraite mars 2021
FRAISSE-MANGIALOMINI Jeanne

PROFESSEUR DES UNIVERSITES ASSOCIE à MI

REVIS Joana

PROFESSEUR DES UNIVERSITES MEDECINE GEN

GENTILE Gaëtan

PROFESSEUR ASSOCIE DE MEDECINE GENERALE

GUIDA Pierre

PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

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

PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

TURRINI Olivier

VALERO René

VAROQUAUX Arthur Damien

VELLY Lionel

VEY Norbert

VIDAL Vincent

VIENS Patrice

VILLANI Patrick

VITON Jean-Michel

VITTON Véronique

VIEHWEGER Heide Elke détachement

VIVIER Eric

XERRI Luc

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

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

(mono-appartenants)

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

MAITRE DE CONFERENCES DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE

CASANOVA Ludovic

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES DE MEDECINE GENERALE à MI-TEMPS

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

THERY Didier

MAITRE DE CONFERENCES ASSOCIE à MI-TEMPS

BOURRIQUEN Maryline

EVANS-VIALLAT Catherine

LAZZAROTTO Sébastien

LUCAS Guillaume

MATHIEU Marion

MAYENS-RODRIGUES Sandrine

MELLINAS Marie

ROMAN Christophe

TRINQUET Laure

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

ANATOMIE 4201

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

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

THOLLON Lionel (MCF) (60ème section)

ANATOMIE ET CYTOLOGIE PATHOLOGIQUES 4203

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

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

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

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

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

ANTHROPOLOGIE 20

ADALIAN Pascal (PR)

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

BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE ; HYGIENE HOSPITALIERE 4501

CHARREL Rémi (PU PH)
DRANCOURT Michel (PU-PH)
FENOLLAR Florence (PU-PH)
FOURNIER Pierre-Edouard (PU-PH)
NICOLAS DE LAMBALLERIE Xavier (PU-PH)

LA SCOLA Bernard (PU-PH)
RAOULT Didier (PU-PH) *Surnombre*

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

CHABRIERE Eric (PR) (64ème section)

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

BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLECULAIRE 4401

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

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

ANGLAIS 11

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

BIOLOGIE CELLULAIRE 4403

ROLL Patrice (PU-PH)

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

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

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

BIOPHYSIQUE ET MEDECINE NUCLEAIRE 4301

GUEDJ Eric (PU-PH)

CARDIOLOGIE 5102

AVIERINOS Jean-François (PU-PH)

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

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

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

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

**BIostatistiques, Informatique Médicale
ET TECHNOLOGIES DE COMMUNICATION 4604**

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

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

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

CHIRURGIE ORTHOPÉDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE 5002

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

ROLOGIE ; RADIOTHERAPIE 4702 CANCÉROLOGIE ; RADIOTHERAPIE

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

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

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

CHIRURGIE VISCÉRALE ET DIGESTIVE 5202

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

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

CHIRURGIE INFANTILE 5402 CHIRURGIE INFANTILE 5402

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

FACIALE ET STOMATOLOGIE 5503 CHIRURGIE MAXILLO-FACIALE

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

FOLETTI Jean-Marc (MCU-PH)

CHIRURGIE THORACIQUE ET CARDIOVASCULAIRE 5103

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

CHIRURGIE PLASTIQUE, RECONSTRUCTRICE ET ESTHETIQUE ; BRÛLOGIE 5004

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

CHIRURGIE VASCULAIRE ; MEDECINE VASCULAIRE 5104

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

GASTROENTEROLOGIE ; HEPATOLOGIE ; ADDICTOLOGIE 5201

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

HISTOLOGIE, EMBRYOLOGIE ET CYTOGENETIQUE 4202

LEPIDI Hubert (PU-PH)

PAULMYER/LACROIX Odile (MCU-PH)

GONZALEZ Jean-Michel (MCU-PH)

DERMATOLOGIE - VENEREOLOGIE 5003

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

GENETIQUE 4704

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

DUSI

COLSON Sébastien (MCF)

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

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

GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE ; GYNECOLOGIE MEDICALE 5403

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

ENDOCRINOLOGIE ,DIABETE ET MALADIES METABOLIQUES ; GYNECOLOGIE MEDICALE 5404

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

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

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

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

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

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

POGGI Marjorie (MCF) (64ème section)

IMMUNOLOGIE 4703

MEDECINE LEGALE ET DROIT DE LA SANTE 4603

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

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

FERON François (PR) (69ème section)

TUCHTAN-TORRENTS Lucile (MCU-PH)

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

BERLAND Caroline (MCF) (1ère section)

MEDECINE PHYSIQUE ET DE READAPTATION 4905

MALADIES INFECTIEUSES ; MALADIES TROPICALES 4503

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

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

MEDECINE ET SANTE AU TRAVAIL 4602

LEHUCHER/MICHEL Marie-Pascale (PU-PH)

ELDIN Carole (MCU-PH)

MEDECINE D'URGENCE 4805

SARI/MINODIER Irène (MCU-PH)

KERBAUL François (PU-PH) détachement

MICHELET Pierre (PU-PH)

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

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

BENYAMINE Audrey (MCU-PH)

GENTILE Gaëtan (PR Méd. Gén. Temps plein)

CASANOVA Ludovic (MCF Méd. Gén. Temps plein)

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

BRUNET Philippe (PU-PH)

BURTEY Stéphanne (PU-PH)

DUSSOL Bertrand (PU-PH)

JOURDE CHICHE Noémie (PU PH)

MOAL Valérie (PU-PH)

ROBERT Thomas (MCU-PH)

NEUROCHIRURGIE 4902

DUFOUR Henry (PU-PH)

FUENTES Stéphane (PU-PH)

REGIS Jean (PU-PH)

ROCHE Pierre-Hugues (PU-PH)

SCAVARDA Didier (PU-PH)

CARRON Romain (MCU PH)

GRAILLON Thomas (MCU PH)

NEUROLOGIE 4901

ATTARIAN Sharham (PU PH)

AUDOIN Bertrand (PU-PH)

AZULAY Jean-Philippe (PU-PH)

CECCALDI Mathieu (PU-PH)

EUSEBIO Alexandre (PU-PH)

FELICIAN Olivier (PU-PH)

PELLETIER Jean (PU-PH)

MAAROUF Adil (MCU-PH)

PEDOPSYCHIATRIE; ADDICTOLOGIE 4904

DA FONSECA David (PU-PH)

POINSO François (PU-PH)

GUIVARCH Jokthan (MCU-PH)

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

BLIN Olivier (PU-PH)

MICALLEF/ROLL Joëlle (PU-PH)

SIMON Nicolas (PU-PH)

BOULAMERY Audrey (MCU-PH)

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)

BARLES Fabrice (PU-PH)

NAUDIN Jean (PU-PH)

CHANEZ Pascal (PU-PH)

RICHERI Raphaëlle (PU-PH)

CERMOLACCE Michel (MCU-PH)

GREILLIER Laurent (PU PH)

REYNAUD/GAUBERT Martine (PU-PH)

CHOLOGIE - PSYCHOLOGIE CLINIQUE, PSYCHOLOGIE 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

PETIT Philippe (PU-PH)

VAROQUAUX Arthur Damien (PU-PH)

VIDAL Vincent (PU-PH)

HERAPEUTIQUE; MEDECINE D'URGENCE; ADDICTOLOGIE 4801

AMBROSI Pierre (PU-PH)

VILLANI Patrick (PU-PH)

STELLMANN Jan-Patrick (MCU-PH)

DAUMAS Aurélie (MCU-PH)

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

HRAIECH Sami (MCU-PH)

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

Remerciements

Aux membres du jury,

A Monsieur le Professeur Alexis JACQUIER, merci de présider mon travail de thèse. Merci pour toute l'aide que tu m'as apporté durant la préparation du projet et merci d'avoir été aussi disponible.

A Monsieur le Professeur Philippe PETIT, en passant dans votre service j'ai pu apprendre énormément à vos côtés. Cela m'a fait découvrir la radiopédiatrie, une sur spécialité que j'affectionne. J'en suis très reconnaissante et je vous témoigne tout mon respect.

A Monsieur le Professeur Vincent VIDAL, merci de me faire l'honneur de juger mon travail de thèse. Durant mon passage dans votre service, vous avez toujours souligné l'importance de la recherche dans la pratique médicale ; c'était important pour moi de vous avoir dans mon jury.

Au Docteur Anaïs GROB-VAILLANT, merci de diriger mon travail de thèse. Tu es plus qu'un sénior de radiologie. Merci d'avoir supporté mes mails et messages d'harcèlement, mes inquiétudes et mes questions. Tu as toujours été rassurante et c'est pourquoi je suis très honorée d'avoir fait ce travail à tes côtés.

A ma famille,

Papa, Maman, sans vous je n'en serais pas là aujourd'hui. Vous m'avez toujours encouragé, toujours soutenu dans mes choix et je vous dois toute ma réussite.

Rita, Saâd, mes frères jumeaux avec 7 ans d'écart. Je suis la plus chanceuse d'avoir un frère et une sœur comme vous. Vous êtes mes piliers et prenez une place énorme dans mon cœur.

Omar, mon beau-frère, mon frère. Tu es si attentionné, si bienveillant. Merci d'être aussi formidable.

Mima, ma lumière, de là où tu es je te remercie. Depuis toujours, tu as pris soin de moi ; mon amour pour toi est éternel.

Mamie Myriem, merci d'être la grand-mère que tu es, j'aurais aimé que tu sois présente parmi nous, je pense à toi.

Ghali, mon jambon beurre, bien plus qu'un cousin. Merci pour tous ces week-end parisiens où j'envahissais ton appartement avec mes règles strictes.

Yazid, mon génie, merci pour ta bonne humeur. Toujours prêt à résoudre mes énigmes les plus compliquées à n'importe quelle heure, toujours là pour enflammer la piste de dance.

Hajar, merci pour nos moments marseillais que je n'oublierais jamais.

Marwa, après Lyon, Marseille, quelle est la prochaine ville ensemble ?
Merci à mes cousines Saoussane, Myriem et Islam pour tous les souvenirs heureux que nous avons ensemble.

Merci à mes oncles et tantes, pour votre encouragement.

Ma belle-famille, Angéline, François, Dominique, la Nona. Mention spéciale pour Élise, la petite sœur que je n'ai jamais eu.

A mes amis de Bordeaux, Lyon et Marseille,

Sandrine, merci d'être l'amie que tu es. Merci pour tous nos fous rires qui ne cessent jamais quand on se voit.

Cédric, le meilleur organisateur de soirée, merci de prendre aussi bien soin de Sandrine.

Agathe, docteur boule, on en a fait du chemin ensemble, merci d'être toujours là de Lyon à Marseille.

Kinga, mon amie trop stylée.

Claire, malgré la distance tu as su garder notre relation intacte, et je t'en remercie.

Julie, ma beauté militaire.

Jade, Valentin et Janyce, merci pour les moments passés avec vous.

Sophie et Elsa, merci pour votre amitié. J'ai tellement hâte que l'on se retrouve.

Bastien, le seul mec à faire des masques pour les cheveux.

Merci Chichi, Market, Marie et Maxime, des copains toujours prêts à faire la fête, même la venue de Pablo n'a pas l'air de changer la donne.

Marion, ou celle qui court sous 40° à l'ombre, merci pour ta bonne humeur.

Romain, Léo, Julie, Erwan ma team surfeurs, vous me manquez.

Thierry et Françoise je ne me lasse pas des moments passés et surtout du bonheur à venir goûter vos délicieux plats et pâtisseries.

Lisa, merci pour cette relation si spéciale, mon coup de foudre marseillais. Merci de faire partie de ma vie toi et Karim et d'avoir donné à Yasmine son premier ami, Joseph.

Camille, ma kitteuse, toujours souriante et agréable. Je ne me laisserais jamais de nos moments potins.

Maxime et Morgane, merci pour votre gentillesse.

Ahmed, Idir et Thomas, la famille, le sang. Merci pour tous ces moments que l'on passe ensemble. Charlotte ma biologiste, et Alexandra ma neurologue merci de supporter nos conversations de radiologues.

Clothilde, ta spontanéité fait de toi une personne unique, merci.

Farah, toujours positive et enthousiaste.

Margaux, toujours là pour répondre à mes questions de dermatologies.

Clara, les stages passés ensemble à t'entendre râler dès 8 h du matin te rendent unique.

Marguerite, depuis le lycée, la distance ne changera jamais cette relation si spéciale que nous avons.

Assil et Fatima, les copines de ma sœur sont aussi mes copines. Merci pour ces moments passés.

A la radiologie marseillaise,

Merci à tous mes co internes et chefs d'avoir été là tout au long de mon internat.

Axel, Antoine, Mathias, Margaux, Géraldine, Maxime, Mathieu, Estelle, Christelle, Sivadji, Pierre-Yves, Marine, Mélanie, Clothilde, Clara, Margaux, Farah, Maxime, Morgane, Lisa, Camille, Ahmed, Idir, Thomas, Lilia, Noéline, Arnaud, Alexis, Benjamin, Jean-François, Blandine, Antoine, Baptiste, Rayd, Oinis, Mohamed, Quentin, Julien, Laurent, Hector, Thibaut, Anne-Lise, Justine, Chloé, Alexia, Harmony, Ana, Julian, Rémi, Mélinda, Claire, Anaïs, Pierre-Antoine, Ana, Farouk, Gilles, Xavier, Alexandre, Marie, Ugo, Antonia, Firdaous, Capucine, Pierre, Dara, Camille, Charlotte, François, Geoffrey, Sébastien, Cécile.

Je remercie aussi tous les radiologues qui m'ont énormément appris, Guillaume Louis, Pr Jean-Michel Bartoli, Pr Jean-Yves Gaubert, Anthony Reyre, Audrey Aschero, Nathalie Colavolpe, Pr Kathia Chaumoitre, Brigitte Bourlière, Stéphanie Coze, Caroline Prost, Jérôme Soussan, David Chemouni, Madame Vaillant, Pr Nadine Girard, Pr Thomas Le Corroller, Pr Michel Panuel, Florence Rodriguez, Magali Carcopino, Aurélie Dehaene, Catherine Desvignes, Pascale Siles, Aurélie Jalaguier, Anne-Claire Ortlieb.
Une mention spéciale pour Arthur Varoquaux et Guillaume Gorincour, vous avez marqué mon internat, je ne l'oublierais jamais.

Merci aux manipulateurs radio de la Timone, de radiopédiatrie, de la Conception, de l'Hopital Nord et de l'IPC. Travailler à vos côtés est un plaisir.

Merci à Nadia qui a égayé mes matinées d'échographie en début d'internat à la Timone.

Merci à Monsieur Loundou, à l'équipe d'Olea Medical et surtout à Florence Feret pour l'aide apportée durant mon travail de thèse.

Matthieu,

Mon mari, mon ami. Merci pour ton soutien quotidien et ton amour. Tu m'as épaulé durant ce long périple que sont les études de médecine et je t'en remercie. Tu es mon rayon de soleil les jours de grisaille. Merci d'être le parfait papa pour Yasmine qui fait notre bonheur tous les jours. J'ai hâte de construire pleins de projets à tes cotés.

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	2
2. MATERIEL ET METHODE	4
2.1 Population	4
2.2 Acquisition IRM	5
2.3 Data processing (traitement de l'image).....	6
2.4 Extraction des paramètres	8
2.5 Analyse BIRADS	10
2.6 Analyse histologique	10
2.7 Analyse statistique	10
3. RESULTATS	11
3.1 Données histologiques	11
3.2 Descripteurs retenus.....	11
3.3 Performances diagnostiques du modèle de prédiction automatique	13
3.4 Performances diagnostiques de l'analyse BI-RADS.....	14
4. DISCUSSION.....	15
5. CONCLUSION	18
6. ANNEXES	19
7. REFERENCES	23
8. ABBREVIATIONS	28

1. INTRODUCTION

Le cancer du sein est le principal cancer chez la femme dans le monde avec environ 2 millions diagnostiqués chaque année [1]. La classification BI-RADS permet une codification de l'interprétation d'une masse mammaire. La démarche de prise en soins d'une anomalie classée BI-RADS 4 et BI-RADS 5 impose la réalisation d'une biopsie pour faire la preuve histologique de cette anomalie. Pour une anomalie classée BI-RADS 3, un suivi est préconisé. L'IRM mammaire est indiquée en seconde intention compte tenu de sa forte valeur prédictive négative pour la détection des lésions malignes [2]. L'IRM mammaire est recommandée chez les patientes à haut risque de cancer, présentant une mutation génétique à risque (BRCA 1, BRCA 2, TP53...), présentant des seins très denses ou en cas de discordances radio cliniques [3]. La principale limite de l'IRM est sa faible spécificité qui varie entre 47 à 97% selon les études, pour la discrimination entre les lésions bénignes et malignes [4]. Cela engendre la réalisation d'examens complémentaires (échographies de second look, mammographies complémentaires) et d'un nombre significatif de biopsies de lésions bénignes. Cependant l'IRM mammaire est actuellement la technique d'imagerie avec la meilleure performance décisionnelle dans la caractérisation d'une lésion bénigne ou maligne en se basant sur les critères du BI-RADS [3, 5], mais ces critères présentent un degré de variabilité inter observateurs significatif [6].

La radiomique appliquée à l'IRM ouvre de nouveaux horizons de recherche pour l'amélioration de ces marqueurs diagnostiques. La radiomique peut être définie comme une mesure quantitative de paramètres de texture extraits d'images radiologiques. Ces paramètres correspondent à des descripteurs mathématiques, permettant de caractériser la forme et l'hétérogénéité tumorale à un niveau non visible à l'œil nu et sont corrélés à la nature biologique des tissus [7, 8]. La radiomique semble émerger comme un nouveau biomarqueur tumoral au même titre que l'hétérogénéité histologique ou moléculaire. Son utilisation pourrait permettre de prédire la nature biologique d'un tissu, la réponse thérapeutique ou le pronostic d'une lésion tumorale [9, 10]. Les paramètres mesurés en radiomique peuvent être des paramètres de forme quand ils décrivent la morphologie d'une lésion, de premier ordre quand ils décrivent la distribution de l'intensité du niveau de gris au

sein d'un groupe de pixels (Entropy, Kurtosis...) ou de second ordre quand ils décrivent l'organisation spatiale d'un groupe de pixels (études des niveaux de gris...).

Des études antérieures ont montré des résultats prometteurs de la radiomique en IRM mammaire sur l'évaluation de la réponse tumorale sous chimiothérapie néo adjuvante ou la prédiction d'un sous type histologique de cancer [11, 12] ou d'un sous-type moléculaire[13]. D'autres études se sont intéressées aux facteurs de risque de surexpression du récepteur aux œstrogènes [14], et enfin certaines se sont penchées sur une analyse pronostique en faisant le lien entre génomique et radiomique [15]. Plus récemment, des études utilisent la radiomique dans la caractérisation d'une lésion bénigne ou maligne en IRM multiparamétrique avec des séquences de diffusion et de perfusion [16] et également avec l'utilisation de protocoles haute résolution [17]. Peu d'études portent sur des protocoles IRM standard utilisés en pratique courante pour le diagnostic d'une masse mammaire (T1, T2, séquence de rehaussement dynamique). Les travaux sur le sujet ont montré des résultats encourageants mais le nombre de descripteurs dans l'analyse et le nombre de patientes été trop faibles pour créer un modèle représentatif [18, 19].

Les objectifs de notre étude sont 1) de développer un nouvel outil de radiomique adapté à l'IRM mammaire pour la caractérisation des masses mammaires, 2) de comparer l'apport de cet outil avec la classification BI-RADS et l'histologie comme standard de référence.

2. MATERIEL ET METHODE

2.1 Population

Il s'agit d'une étude mono centrique rétrospective réalisée au sein du service de radiologie de la Timone (Pr Jacquier, assistance publique des Hôpitaux de Marseille).

Toutes les patientes ayant bénéficié d'une IRM mammaire entre septembre 2017 et décembre 2019 et présentant une masse mammaire avec documentation histologique ont été inclus dans l'étude. Selon les critères du BI-RADS, une masse est définie comme une lésion occupant un volume (bords convexes), de forme ronde, ovale ou irrégulière dans les trois plans anatomiques. Celle-ci est visible sur les séquences anatomiques T1/T2 à la différence d'un focus. Soixante-dix-neuf patientes ont été incluses, avec l'identification de 97 masses. Trois masses mammaires ayant un résultat histologique B3 c'est-à-dire considérées comme des lésions frontières à potentiel évolutifs incertain ont été exclues. L'analyse de cette étude porte donc sur 76 patientes avec un total de 94 masses (**figure 1**).

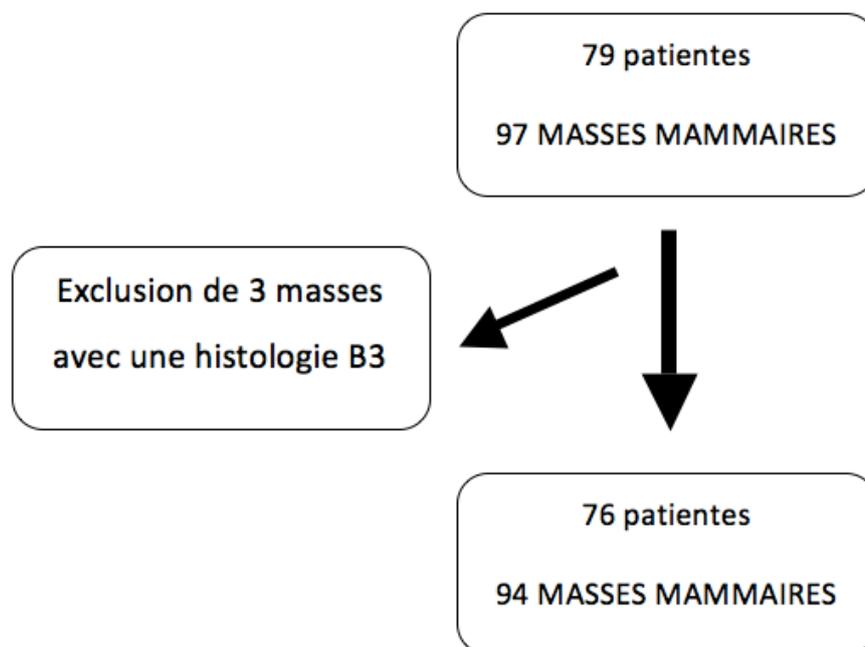


Figure 1 : diagramme de flux.

Le recueil des données de manière rétrospective et anonyme a été déclaré au portail d'accès aux données de santé # PADS19-308. La validation de cette étude suivant la procédure

MR003 a été validé par le comité éthique CERIM obtenue le 6 janvier 2020, # IRB = CRM-1912-043.

2.2 Acquisition IRM

L'ensemble des patientes ont bénéficié d'une IRM mammaire (Ingénia 1.5T, Philips medical imaging, Beth, the Netherland) selon le protocole suivant :

T1 : temps de relaxation (TR) = 441.5 msec, temps d'écho (TE) = 9.0 msec, matrice d'acquisition = 544 x 538, matrice de reconstruction = 768 x 768, champ de vision (FOV) = 38 x 38 cm², angle de bascule (FA) = 90°, épaisseur de coupe = 3.3mm.

T2 : TR = 4609.6 msec, TE = 120.0 msec, matrice d'acquisition = 544x505, matrice de reconstruction = 768 x 768, FOV = 38 x 38 cm², FA = 90°, épaisseur de coupe = 3.3mm.

Séquences de rehaussement dynamique : Dynamic contrast enhanced (DCE) : TR = 5.7 msec, TE = 2.8 msec, matrice d'acquisition = 424x382, matrice de reconstruction = 896x896, FOV = 36x36cm², FA = 12° épaisseur de coupe = 1.5 mm (**tableau 1**).

Paramètres d'acquisition	T1	T2	DCE
Options/Technique	2D	2D	3D / Saturation Graisse
TR / TE / Angle de bascule	500 ms / 9 ms / 90	4400 ms / 120 ms / 90	5.7 ms / 2.8 ms / 12
Train d'Echo	5	24	-
Nombre excitation	1	2	1
Bande Passante (Bw/Px)	185 Hz	178 Hz	310 Hz
FOV	380	380	360
Epaisseur / Distance Inter-coupe	3 mm / 0.3 mm	3 mm / 0.3 mm	3 mm / - 1.5 mm
Matrice Acquisition	544 x 538	544 x 505	424 x 382
Matrice Reconstruction	768 x 768	768 x 768	896 x 896
Taille Pixel	0.49	0.49	0.4
Temps Acquisition	2m43	3m53	7m51 (78sec/phase)
Nombre de phases	-	-	5
Nombre de coupes	53	53	150

Tableau 1 : séquences d'acquisition IRM.

Les séquences DCE ont été réalisées avant puis à 1 min, 2 min, 3 min, 4 min et 5 min après injection de GdDOTA (DOTAREM : 0.2cc/kg, Guerbet, Aulnay sous bois, France). Les reconstructions natives ont été réalisées pour chaque temps d'acquisition (DCE_n 0, DCE_n 1, DCE_n 2, DCE_n 3, DCE_n 4, DCE_n 5). De plus des soustractions ont été réalisées entre les acquisitions post contraste et l'acquisition pré contraste comme masque pour chaque temps (DCE_s 1, DCE_s 2, DCE_s 3, DCE_s 4, DCE_s 5). Les séquences T1, T2 et DCE natives et soustractions ont été utilisées pour la segmentation des lésions et l'analyse par le radiologue.

2.3 Data processing (traitement de l'image)

Le traitement des images a été réalisé sur le logiciel breastcape[®], Olea Medical, (La Ciotat, France). Les masses ont été segmentées de manière semi-automatique sur les DCE_s, après analyse de l'ensemble des séries du protocole T1, T2 et DCE_n. La serie DCE_s correspondant au pic du signal a été utilisée comme série de référence pour la segmentation. Les segmentations des lésions proposées par le logiciel breastcape[®] ont permis de définir des régions d'intérêt (ROI) qui correspondent à la ou les masses intra mammaire (**figures 2 et 3**). Il n'a pas été réalisé de pré traitement des images type discrétisation des images avant le calcul des paramètres de radiomique. Lorsque cela été nécessaire il a été réalisé une correction du mouvement pour les séquences dynamiques (entre les temps des séries DCE[20]).

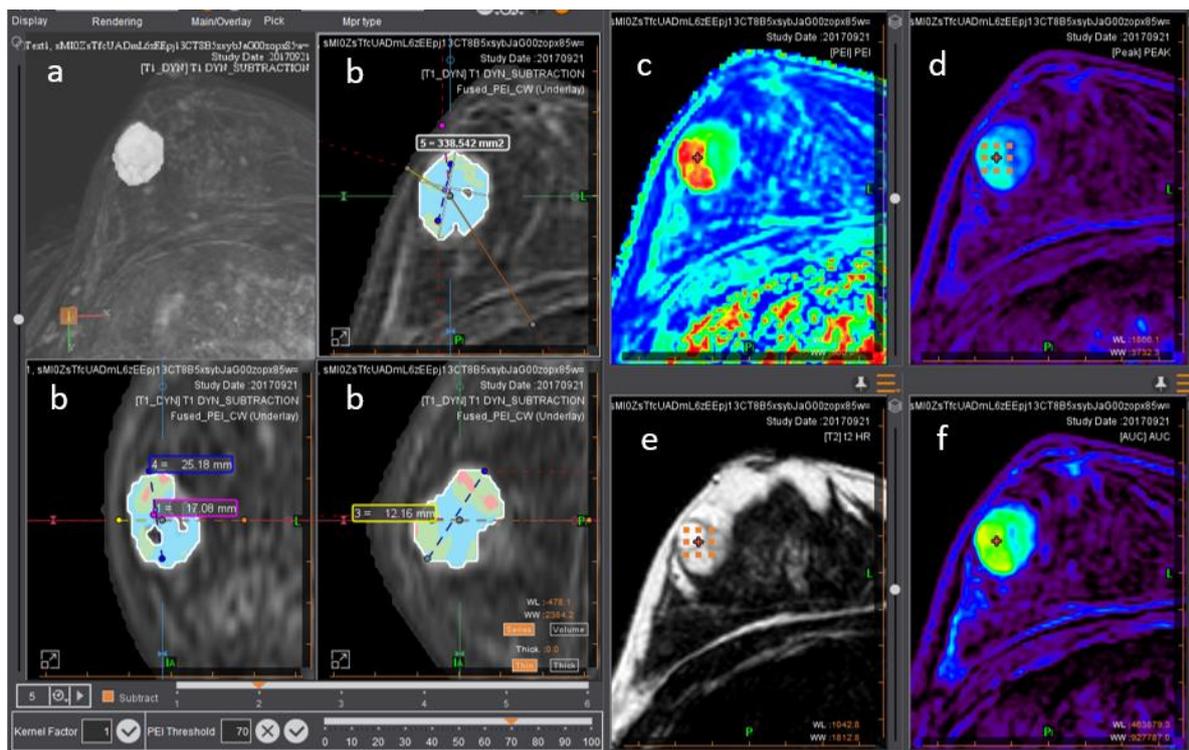


Figure 2 : Capture d'écran du logiciel de segmentation breastscapE® d'un fibroadénome de l'union des quadrants externes du sein droit : a : DCE soustraite en reconstruction MIP, b : séquence DCE fusionnée avec la carte PEI dans les trois plans ax, cor, sag, c : carte PEI, d : carte PEAK, e : T2, f : carte AUC.

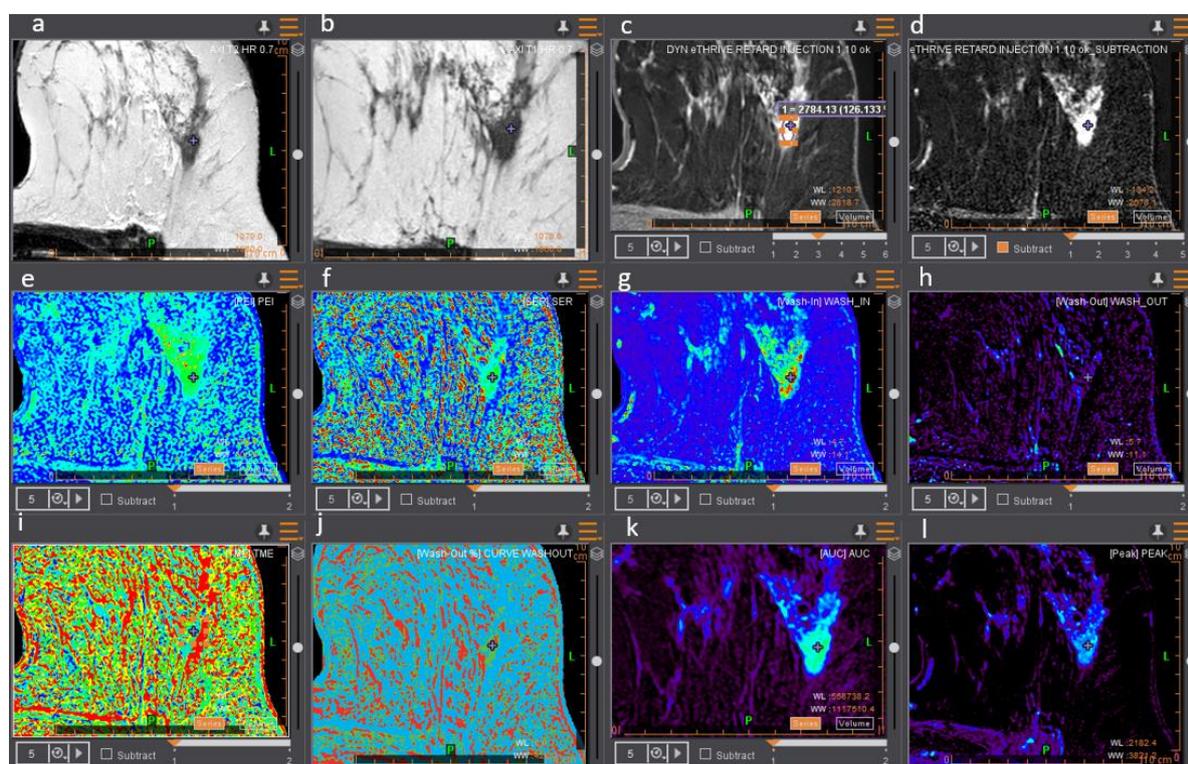


Figure 3 : Carcinome infiltrant de grade II du sein gauche de l'union des quadrants externes : a : T2, b : T1, c : DCE 3 native, d : DCE 1 soustraite, e : PEI, f : SER, g : WASHIN, h : WASHOUT, i : TME, j : CURVEWASHOUT, k : AUC, l : P.

2.4 Extraction des paramètres

Les paramètres de textures ont été extraits à partir des différentes séries soustraites DCE_s (DCE_s 1, DCE_s 2, DCE_s 3, DCE_s 4 et DCE_s 5) et à partir de huit cartes basées sur le rehaussement du signal calculées par le logiciel breastscope[®], et appelées *cartes kinetics* par le logiciel, défini comme suit (**figure 4**) :

Time to maximum enhancement (TME) : Montre la répartition régionale du temps nécessaire pour que l'augmentation du signal atteigne sa valeur maximale.

Aire sous la courbe (AUC) : Montre l'intégration de la courbe d'augmentation du signal dans le temps.

PEAK Enhancement (P) : Montre la valeur maximale de l'augmentation du signal au cours du temps.

Pente ascendante initiale (WHASHIN) : Montre la pente ascendante initiale de la courbe d'augmentation du signal en fonction du temps.

Pente descendante (WHASHOUT) : Montre la pente descendante de la courbe du signal dans le temps compris entre la phase de pic et le dernier point temporel de la courbe.

L'intensité maximale du Peak (PEI) : Montre le pourcentage de rehaussement initial de la courbe du signal dans le temps.

Washout relatif (CURVE WASHOUT) : Montre le pourcentage de la pente descendante de la courbe de rehaussement du signal.

Ratio d'augmentation du signal (SER) : Montre le rapport d'augmentation du signal sur la courbe de rehaussement de signal dans le temps.

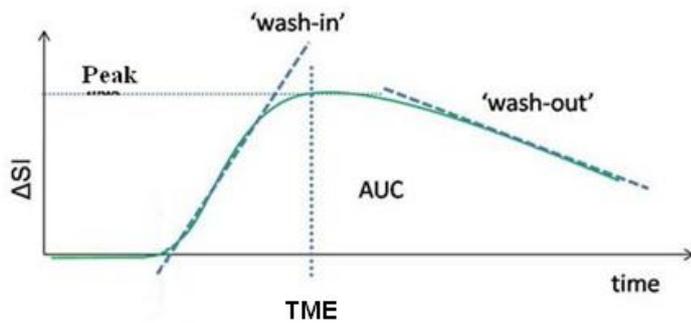


Figure 4 : courbe d'intensité du signal au cours du temps.

Le détail du calcul des cartes cinétiques est disponible dans l'**annexe 2**.

L'extraction des paramètres de texture a été effectuée par la librairie pyradiomics, développée en python, pour l'analyse d'images dans le domaine du médical (<https://pyradiomics.readthedocs.io/en/latest/>).

Un code exécutable, nommé `breast_features`, basé sur cette librairie a été développé pour calculer tous les paramètres de textures disponibles via pyradiomics, dans une zone précise de l'image traitée, à savoir, la zone définie par le masque des lésions étudiées. Cet exécutable est lancé en parallèle du logiciel `breastscape`[®], qui permet d'une part, de segmenter les lésions, et d'autre part, de lui envoyer tous les volumes, cartes paramétriques disponibles et masques de lésions, afin qu'il ait toutes les informations nécessaires lui permettant d'effectuer ses calculs de textures. Pour information la liste des différents paramètres mesurés est disponible dans l'**annexe 3**.

Tous les résultats sont sauvegardés dans des fichiers au format excel, un fichier par carte paramétrique. Ces descripteurs de texture sont séparés en 3 groupes : descripteurs de forme, descripteurs de texture de 1^{er} ordre et descripteurs de texture de 2nd ordre. Les descripteurs de forme font référence aux contours, à la morphologie de la lésion et à sa dimension en deux et trois dimensions (2D et 3D). Ces descripteurs dépendent principalement de la segmentation. Les descripteurs de premier ordre décrivent la distribution de l'intensité des niveaux de gris au sein du pixel ou du voxel, basé sur l'histogramme de distribution de différents paramètres du signal. Les paramètres de texture

de second ordre décrivent la matrice des différents paramètres de distribution des pixels dans l'image (**Annexe 3**).

2.5 Analyse BIRADS

Un radiologue sénior spécialisé en imagerie de la femme (PS 10 années d'expertise, AG 4 années d'expertise), a classé les masses mammaires selon les critères BI-RADS en aveugle du diagnostic histologique. Selon les critères du BI-RADS, une masse classée BI-RADS 2 ou 3 était considérée comme bénigne ou très probablement bénigne et une masse classée BI-RADS 4 et 5 comme hautement suspecte de malignité [21].

2.6 Analyse histologique

Le diagnostic anatomopathologique a été établi par micro biopsie sous échographie avec du matériel de 14 Gauge (G) ou sur analyse de pièce de tumorectomie. Les résultats histologiques étaient classés selon la classification européenne : B2 pour les lésions bénignes et B5 pour les lésions malignes [22]. L'analyse histologique été utilisée comme référence diagnostique pour l'analyse.

2.7 Analyse statistique

L'algorithme de Boruta a été utilisé pour sélectionner les descripteurs les plus pertinents parmi les 1246 extraits [23, 24]. L'importance de chaque descripteur a été calculée à l'aide de 99 itérations qui ont généré une importance moyenne. Plus le score est élevé et plus le descripteur est pertinent. L'algorithme a classé les descripteurs suivant 3 types 1) les descripteurs discriminant confirmés, non confirmés ou indéfinis lorsque l'algorithme ne savait pas trancher.

Sur les 1246 descripteurs, 1228 sont non confirmé, 6 sont confirmés et 12 sont indéfinis. Nous décidons de conserver les 6 confirmés et les 12 indéfinis pour la réalisation du modèle de prédiction, soit 18 descripteurs au total.

L'ensemble des données de texture acquises sur les 94 masses explorées ont été divisées en données d'entraînement (70%) et de test (30%). Les performances du modèle comprenaient

les paramètres ROC, l'aire sous la courbe (AUC), l'exactitude diagnostic, la sensibilité, la spécificité, la valeur prédictive positive et la valeur prédictive négative (VPN) selon un intervalle de confiance (IC) à 95% pour chaque donnée. Le test Bootstrap a comparé les AUC et les courbes ROC. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R (version 4.1.0). Une différence significative a été obtenue pour un $p < 0.05$.

3. RESULTATS

3.1 Données histologiques

Soixante-seize IRM mammaires ont été incluses parmi lesquelles 94 masses ont été étudiées. Soixante-et-onze (75.5%) masses étaient malignes, 23 (24.5%) étaient bénignes. Au sein des lésions malignes, il y avait 3 (4,2%) carcinomes lobulaires infiltrants et 68 (95.8%) carcinomes infiltrants sans élément de spécificité.

Parmi les lésions bénignes, il y avait 7 (30.4 %) fibroadénomes, 5 (21.7%) ectasies canalaire galactophoriques, 5 (21.7%) lésions d'adénose ou de fibrose, 3 (13.0%) kystes galactophoriques, 2 (8.7%) lésions de cytotéatonecrose et 1 (4.4%) abcès (**tableau 2**).

Sous type de tumeur	Nombre	Pourcentage %
Bénin	23	
Fibroadénome	7	30.4
Ectasie canalaire galactophorique	5	21.7
Adénose, fibrose	5	21.7
Kyste galactophorique	3	13.3
Cytostéatonecrose	2	8.8
Abcès	1	4.4
Malin	71	
Carcinome infiltrant sans élément de spécificité	68	95.8
Carcinome lobulaire infiltrant	3	4.2
Total	94	100

Tableau 2 : résultats histologiques des masses étudiées.

3.2 Descripteurs retenus

L'algorithme statistique a identifié des descripteurs discriminants: l'"Inverse difference moment normalized" (IDMN), l'"inverse difference normalized" (IDN), "Low gray run emphasis" (LGRE), "long run low gray level emphasis" (LRLGLE), "short run low gray level

emphasis" (SRLGLE), "informal measure of correlation" (IMC), "large area low gray level emphasis" (LALGLE), "long run high gray level emphasis" (LRHGLE), "maximum 3 D diameter", "total energy, major axis", "energy". Seules les cartes dynamiques soustraites DCE 1, DCE 2, DCE 4, DCE 5, et les cartes *kinetics* AUC, PE, SER et WO contiennent au moins un descripteur utile à la création du modèle.

Parmi les 18 descripteurs retenus par Boruta, un descripteur dont le coefficient d'importance été nul a pu être exclu. Le modèle a été créé en intégrant au final 17 descripteurs discriminants : 4 étaient des variables de forme, 2 des variables de premier ordre et 11 des variables de second ordre.

Certains descripteurs étaient retrouvés plusieurs fois dans différentes cartes ou séquences comme le descripteur de forme « Maximum 3D Diameter » ou bien un des descripteurs de second ordre comme l'IDN et l'IDNM. L'IDNM était discriminante pour les séquences DCE 1 et DCE 2. Les descripteurs permettant de créer le modèle de prédiction sont renseignés dans le **tableau 3**.

Carte de rehaussement Séquence dynamique	Descripteur de forme	Descripteur de 1 ^{er} ordre	Descripteur de 2 nd ordre	Coefficient d'importance
DCE1			Inverse Difference Normalized (IDN)	97.891
			Inverse Difference Moment Normalized (IDMN)	62.253
DCE2	Maximum 3D Diameter		Inverse Difference Normalized (IDN)	18.312
			Inverse Difference Moment Normalized (IDMN)	91.920
DCE4	Maximum 3D Diameter			100.000
DCE5			Informal Measure of Correlation 1 (IMC1)	13.144
AUC			Informal Measure of Correlation 1 (IMC1)	46.282
			Low Gray Level Run Emphasis (LGLRE)	67.188
			Long Run Low Gray Level Emphasis (LRGLRE)	59.374
			Short Run Low Gray Level Emphasis (SRLGLE)	53.492
			Inverse Difference Moment Normalized (IDMN)	40.651
PE			Large Area Low Gray Level Emphasis (LALGLE)	33.927
			Long Run High Gray Level Emphasis (LRHGLE)	32.204
SER		Total Energy Energy		13.301
				4.374
WO	Major Axis			7.198
	Maximum 3D Diameter			20.586
		4	2	11

Tableau 3 : descripteurs retenus pour la création du modèle de prédiction des masses malignes et bénignes.

3.3 Performances diagnostiques du modèle de prédiction radiomique

La sensibilité de l'algorithme pour la détection d'une lésion maligne était de 100% (IC95% [84.5 ; 100.0]) avec une spécificité de 33.3 % (IC95% [9.7, 70]). L'exactitude au diagnostic (accuracy) est de 85% (IC95% [66.3, 95.8]). L'aire sous la courbe (AUC) à partir de l'échantillon test est de 93.7 (IC95% [84.6, 100]). (Tableau 4).

	Modèle statistique radiomique	BI-RADS
Sensibilité (SE)	100.0 [84.5;100.0]	100.0 [94.9;100.0]
Spécificité (SP)	33.3 [9.7;70.0]	16.7 [3.0;56.4]
Valeur Prédicte Positive (VPP)	84.0 [65.4;93.6]	79.8 [70.3;86.8]
Valeur Prédicte Négative (VPN)	100.0 [34.2;100.0]	100.0 [56.6;100.0]
Exactitude	85.2 [66.3;95.8]	81.5 [63.3,91.8]
Aire sous la courbe (AUC)	93.7 [84.6 ; 100.0]	84.1 [73.3, 94.9]

Tableau 4 : performances diagnostiques du modèle de prédiction radiomique et de l'analyse BI-RADS par le radiologue.

3.4 Performances diagnostiques de l'analyse BI-RADS

Presque la moitié (48.9%) des masses mammaires étaient classées BI-RADS 5 soit typiquement malignes. Il y avait seulement 5 masses classées typiquement bénignes ou probablement bénignes. Les masse BI-RADS 4 étaient divisées en 3 sous-groupes a, b et c selon leur probabilité croissante de malignité avec 22 lésions BI-RADS 4c très fortement suspectes de malignité et 9 lésions BI-RADS 4a faiblement suspectes de malignité (**tableau 5**). Selon les critères du BIRADS par le radiologue, la sensibilité était de 100% (IC95% [84.5, 100]) mais la spécificité seulement de 16.7 % (IC95% [3.0, 56.4]). L'exactitude diagnostic (accuracy) est de 81.5% (IC95% [63.3, 91.8]). L'aire sous la courbe était de 84.1 (IC95% [73.3, 94.9]) (**tableau 4**).

BI-RADS	Nombre	Pourcentage %
2	1	1.0
3	4	4.3
4a	12	12.8
4b	9	9.6
4c	22	23.4
5	46	48.9
Total	94	100

Tableau 5 : analyse BI-RADS.

L'aire sous la courbe du modèle est relativement plus élevée que pour le BI-RADS, 93.7 vs 84.1 ($p=0.19$). La différence n'est pas statistiquement significative par manque de puissance.

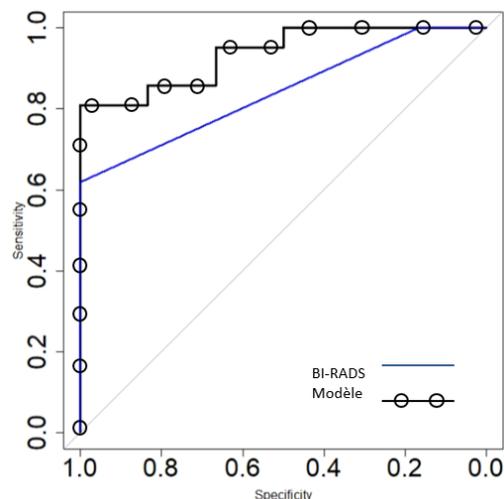


Figure 5 : courbe ROC de l'analyse BI-RADS (courbe continue) et du modèle de prédiction statistique (courbe avec points).

4. DISCUSSION

Notre étude préliminaire a démontré que la radiomique à l'aide du machine learning a permis de créer un modèle prédictif du caractère histologique bénin ou malin d'une masse mammaire avec une sensibilité de 100%. Cette sensibilité est équivalente à la sensibilité d'un radiologue expérimenté basée sur les critères BI-RADS. Cependant, l'algorithme de prédiction tend vers des performances diagnostiques meilleures malgré un manque de puissance statistique. Il semble exister une amélioration de la spécificité par rapport au BI-RADS (33.0% (IC95% [9.7, 70]) contre 16.7% (IC95% [3.0, 56.4]) bien que les intervalles de confiance se chevauchent. L'ensemble des paramètres statistiques du modèle prédictif ont des performances statistiques au moins équivalentes à celle de l'analyse par les critères du BI-RADS avec une accuracy de 85% et un AUC à 93.7 (IC95% [84.6, 100]). L'amélioration de la spécificité pourrait être un atout majeur en pratique clinique. Des études multicentriques pourraient permettre d'évaluer si ce type d'approche permettrait de diminuer le nombre de biopsies inutiles.

L'algorithme a été testé par rapport au critère le plus robuste qu'il soit, l'histologie. Le nombre de lésions malignes était supérieur au nombre de lésions bénignes puisque celle-ci sont moins souvent sujettes à un prélèvement histologique. Le fait de retrouver des lésions bénignes au sein des résultats histologiques reflète parfaitement le prélèvement par excès en rapport avec une trop faible spécificité de notre pratique habituelle. Bien qu'il ait été démontré que les paramètres morphologiques tels que leurs formes et leurs contours soient essentiels à un diagnostic précis en IRM mammaire en se basant sur les critères du BI-RADS [25, 26], leur principale limitation est liée à une importante variabilité inter observateur [6]. Ces paramètres de forme et de contours, présents dans le lexique du BI-RADS sont également modélisés dans les descripteurs de forme en radiomique tels que l'élongation et la sphéricité. Cependant, ce ne sont pas les variables les plus significatives retenues par notre algorithme. En effet, les seules variables morphologiques discriminantes dans notre algorithme sont le plus grand diamètre (maximum 3D diameter) et le plus grand axe (major axis).

Le modèle statistique final a retenu majoritairement des descripteurs de second ordre (11/17). Certains descripteurs de texture sont présents dans plusieurs cartes de rehaussement du signal ou séries d'image dynamique comme pour l'IDN, l'IDMN dont le coefficient d'importance est le plus élevé. De plus leur caractère discriminant est présent dans les DCE_s précoces (DCE_s 1 et DCE_s 2). Fusco et al. [27] a déjà démontré la relation entre la cinétique d'une lésion et son pronostic histologique. De nombreuses études récentes se concentrent principalement sur les temps d'acquisition précoce dans la caractérisation d'une lésion maligne comme le montre l'article de Vande Perre et al. pour la caractérisation d'une lésion maligne ou bénigne à des temps d'injection précoce [17]. Il est maintenant acquis qu'une lésion maligne et bénigne ne se rehaussent pas de la même manière. Même s'il existe un chevauchement entre les courbes de rehaussement, une lésion bénigne aura un rehaussement progressif (courbe de type I) et une lésion maligne un rehaussement intense et précoce (courbe de type III) [28]. Ceci s'explique par une néoangiogenèse dans les tumeurs malignes et par une augmentation de la perméabilité capillaire. Ces éléments sont valables principalement pour les carcinomes infiltrants sans élément de spécificité, histologie maligne prédominante dans notre étude. En effet les carcinomes lobulaires et les carcinomes intra canaux ont un rehaussement plus tardif [29]. Cela met en avant la pertinence de l'analyse dynamique des paramètres de texture. [18, 30]. Des études récentes s'intéressent notamment aux descripteurs dans le cadre de l'IRM de perfusion, plus représentative de la perméabilité capillaire tumorale [16].

Ces paramètres non visibles à l'œil nu pourraient être un atout majeur pour le radiologue.

En IRM mammaire, le machine learning tente de combiner l'interprétation humaine basée sur les critères du BI-RADS et la connaissance du radiologue avec les données d'une imagerie multiparamétrique. Malgré le nombre important d'étude sur le sujet, le manque d'homogénéisation dans l'extraction des données et l'analyse des indices de textures ne permet pas une mise en pratique de ces algorithmes. C'est pourquoi nous avons utilisé des paramètres reconnus et une méthodologie codifiée en se basant sur les données de la littérature [31].

L'acquisition était réalisée selon un protocole standard comportant une séquence morphologique et dynamique provenant d'un même centre. Nous avons utilisé un logiciel de segmentation semi-automatique (breastscape®, Olea Medical). Cette technique a

l'avantage d'avoir une meilleure reproductibilité dans la segmentation des paramètres de textures qu'une segmentation manuelle [32]. Il est également démontré qu'une bonne segmentation des données est la base de résultats fiables [33].

Parmi tous les paramètres de textures existants dans la littérature, aucun ne permet à lui seul de discriminer une lésion. C'est pourquoi l'analyse de leur ensemble est nécessaire. Notre modèle statistique final contient peu de descripteurs comparativement à l'ensemble des variables testées initialement (17 sur 1246 features) grâce à l'exclusion des paramètres redondants et non significatifs. Plus le nombre de variable est élevé, plus il décrit au mieux la population étudiée mais moins il devient généralisable à une autre population. Nous avons adapté le nombre de paramètres au nombre de lésions analysées afin de réduire le surapprentissage (overfitting) à l'aide du machine learning [34]. De plus nous avons réalisé une validation de nos résultats par la méthode cross validation adapté à notre effectif.

Les études antérieures ont déjà prouvé que les algorithmes de machine learning pouvaient être appliqués avec succès en IRM mammaire [35] avec la possibilité de générer des résultats intéressants mais très peu voir aucune étude atteint un AUC à 93.7 [36]. Les travaux de Nie et al avaient le même schéma d'étude avec un AUC à 0.82 mais le nombre de descripteurs analysés était bien moindre.

Nos protocoles d'IRM comportaient une séquence T2 morphologique permettant de confirmer la nature masse de la lésion et d'aider au contourage de la région d'intérêt. Cependant notre analyse des données se base uniquement sur les séquences de rehaussement. Cet aspect est intéressant avec le développement croissant de séquences abrégées visant à réduire au maximum les protocoles en IRM mammaire avec parfois l'utilisation seule de séquences injectées [37, 38]. A l'inverse, certaines études ont montré que l'ajout de séquences supplémentaires combinées ont montré une meilleure précision globale dans la discrimination bénin/malin en particulier l'ajout de séquences de diffusion et du calcul de l'ADC qui amélioreraient la spécificité dans la discrimination d'une lésion maligne ou bénigne [39, 40]. Dans l'étude de Zhang et al, les performances diagnostiques du modèle multiparamétrique avaient un AUC à 0.921 contre 0.836 avec l'utilisation des séquences injectées seules [16].

La stabilité et la reproductibilité du modèle doivent être évaluées avant d'appliquer un modèle prédictif en milieu clinique. Notre étude est la première étape de validation du modèle appelée validation interne. Cependant la meilleure façon d'évaluer la valeur clinique potentielle d'un modèle est la validation externe avec des cohortes indépendantes collectées de manière prospective idéalement dans le cadre d'un essai clinique [41].

La limitation principale à une application clinique rapide est la difficulté à obtenir de grandes cohortes de patients. En effet, l'IRM mammaire est souvent réalisée en seconde intention après la mammographie de dépistage, avec une accessibilité limitée rend le recueil d'un grand échantillon plus long et difficile. De plus, les rehaussements non masses n'ont pas été pris en compte dans cette étude basée uniquement sur les lésions masses sachant que de nombreux cancers prennent la forme de rehaussement non masse [42]. Une dernière limite à une application clinique rapide des études radiomiques est que les résultats dépendent surtout des paramètres d'acquisition et des méthodes de post traitement et de segmentation qui ne sont pas homogènes [41].

Notre étude reste mono centrique sur une population de patients limitée. Même si les variables de notre algorithme sont adaptées à la taille de notre population, l'étape suivante est la réalisation d'une validation externe sur une population externe en analyse prospective et dans un autre centre avec une plus grande population.

5. CONCLUSION

Notre étude de faisabilité mono centrique a permis de créer un algorithme de prédiction basé sur la radiomique dans la caractérisation histologique d'une masse mammaire avec des performances diagnostic prometteuse.

6. ANNEXES

Annexe 1

Lexique IRM BI-RADS (5^{ème} édition)

D'Orsi CJ, Sickles EA, Mendelson EB, Morris EA. ACR BI-RADS Atlas. Breast Imaging Reporting and Data System. Reston, VA: American College of Radiology; 2013.

FORME	CONTOURS	REHAUSSEMENT INTERNE
OVALE	CIRCONSCRITS	HOMOGENE
RONDE	IRREGULIERS	HÉTÉROGÈNE
IRREGULIERE	SPICULÉS	PÉRIPHÉRIQUE

Score Analyse BI-RADS

BI-RADS <i>American College of radiology</i>	Risque de malignité
1	Bilan normal (VPP 0%)
2	Anomalies bénignes (VPP 0%)
3	Probablement bénin (VPP < 2%)
4 (a, b, c)	Suspect (VPP 2 à 95%)
5	Malin (VPP > 95 %)
6	Malignité prouvée (biopsie ou cyto +)

Annexe 2

1 - Cartes basées sur le rehaussement absolu du signal :

La **figure 1** montre la courbe d'intensité du signal au cours du temps permettant de calculer les cartes basées sur le rehaussement absolu du signal.

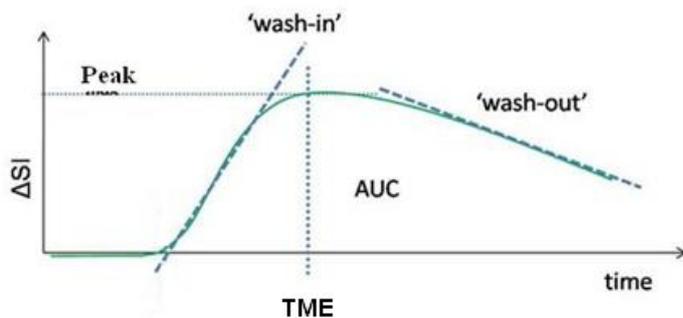


Figure 1 : courbe d'intensité du signal au cours du temps.

Time to maximum enhancement (TME) : la carte TME montre la répartition régionale du temps nécessaire pour que l'augmentation du signal atteigne sa valeur maximale.

Aire sous la courbe (AUC) : cette carte représente l'intégration de la courbe d'augmentation du signal dans le temps.

PEAK enhancement (P) : cette carte représente la valeur maximale de l'augmentation du signal au cours du temps.

Pente ascendante initiale (WASHIN) : cette carte représente la pente ascendante initiale de la courbe d'augmentation du signal en fonction du temps.

Pente descendante (WASHOUT) : cette carte représente la pente descendante de la courbe du signal dans le temps compris entre la phase de pic et le dernier point temporel de la courbe.

2 - Cartes basées sur le rehaussement relatif du signal :

Pour calculer les courbes basées sur le rehaussement relatif du signal, trois points temporels sont nécessaires à partir des séquences de rehaussement dynamique : le point du masque (t_0), la fin de la phase de Wash in, le pic du signal (t_1) et la dernière phase (t_2). S_0 , S_1 et S_2 correspondent à l'intensité du signal à ces 3 points temporels.

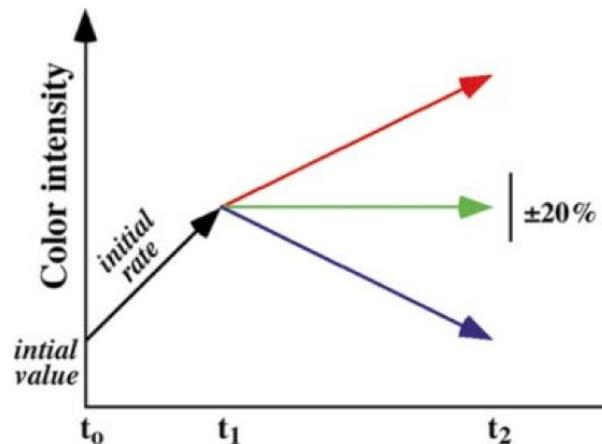


Figure 2 : trois points temporels d'intensité du signal permettant le calcul des cartes basées sur le rehaussement relatif du signal.

A partir de ces trois points temporels, le logiciel breastcape[®], calcule quatre paramètres descriptifs qui sont :

L'intensité maximale du Peak (PEI) : cette carte représente le pourcentage de rehaussement initial de la courbe du signal dans le temps. $100 \times \frac{S_1 - S_0}{S_0}$

Wash out relatif (CURVE WASHOUT) : cette carte représente le pourcentage de la pente descendante de la courbe de rehaussement du signal. $100 \times \frac{S_2 - S_1}{S_1}$

Ratio d'augmentation du signal (SER) : cette carte représente le rapport d'augmentation du signal sur la courbe de rehaussement de signal dans le temps. $100 \times \frac{S_1 - S_0}{S_2 - S_0}$

Annexe 3

Forme	1 ^{er} ordre	2 nd ordre
Elongation	10 Percentile	Autocorrelation
Flatness	90 Percentile	Cluster Prominence
Least Axis Length	Energy	Cluster Shade
Major Axis Length	Entropy	Cluster Tendency
Maximum 2D Diameter Column	InterquartileRange	Contrast
Maximum 2D Diameter Row	Kurtosis	Correlation
Maximum 2D Diameter Slice	Maximum	Difference Average
Maximum 3D Diameter	MeanAbsoluteDeviation	Difference Entropy
Mesh Volume	Mean	Difference Variance
Minor Axis Length	Median	Inverse Difference (ID)
Surface Volume Ratio	Minimum	Inverse Difference Moment (IDM)
Voxel Volume	Range	Inverse Difference Moment Normalized (IDMN)
Compactness 1	Root Mean Squared	Inverse Difference Normalized (IDN)
Compactness 2	Skewness	Informal Measure of Correlation 1 (IMC 1)
Spherical Disproportion	Total Energy	Informal Measure of Correlation 2 (IMC2)
	Uniformity	Inverse Variance
	Variance	Joint Average
	Standard Deviation	Joint Energy
		Joint Entropy
		Maximal Correlation Coefficient (MCC)
		Maximum Probability
		Sum Average
		Sum Entropy
		Sum Squares
		Gray Level Non Uniformity
		Gray Level Non Uniformity Normalized
		Gray Level Variance
		High Gray Level Run Emphasis
		Long Run Emphasis
		Long Run High Gray Level Emphasis
		Long Run Low Gray Level Emphasis
		Low Gray Level Run Emphasis
		Run Entropy
		Run Length Non Uniformity
		Run Length Non Uniformity Normalized
		Run Percentage
		Run Variance
		Short Run Emphasis (SRE)
		Short Run High Gray Level Emphasis (SRHGLE)
		Short Run Low Gray Level Emphasis (SRLGLE)
		High Gray Level Zone Emphasis (HGLZE)
		Large Area Emphasis (LAE)
		Large Area High Gray Level Emphasis (LAHGLE)
		Large Area Low Gray Level Emphasis (LALGLE)
		Low Gray Level Zone Emphasis (LGLZE)
		Size Zone Non Uniformity (SZNU)
		Size Zone Non Uniformity Normalized (SZNUN)
		Small Area Emphasis (SAE)
		Small Area High Gray Level Emphasis (SAHGLE)
		Small Area Low Gray Level Emphasis (SALGLE)
		Zone Entropy
		Zone Percentage
		Zone Variance

7. REFERENCES

1. Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al (2021) Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA Cancer J Clin* 71:209–249. <https://doi.org/10.3322/caac.21660>
2. Bennani-Baiti B, Bennani-Baiti N, Baltzer PA (2016) Diagnostic performance of breast magnetic resonance imaging in non-calcified equivocal breast findings: Results from a systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 11:99–100. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160346>
3. Mann RM, Cho N, Moy L (2019) Breast MRI: State of the art. *Radiology* 292:520–536. <https://doi.org/10.1148/radiol.2019182947>
4. Pinker K, Helbich TH, Morris EA (2017) The potential of multiparametric MRI of the breast. *Br J Radiol* 90:1–17. <https://doi.org/10.1259/bjr.20160715>
5. Mann RM, Balleyguier C, Baltzer PA, et al (2015) Breast MRI: EUSOBI recommendations for women’s information. *Eur Radiol* 25:3669–3678. <https://doi.org/10.1007/s00330-015-3807-z>
6. Grimm LJ, Anderson AL, Baker JA, et al (2015) Interobserver variability between breast imagers using the fifth edition of the BI-RADS MRI lexicon. *Am J Roentgenol* 204:1120–1124. <https://doi.org/10.2214/AJR.14.13047>
7. Lambin P, Rios-Velazquez E, Leijenaar R, et al (2012) Radiomics: Extracting more information from medical images using advanced feature analysis. *Eur J Cancer* 48:441–446. <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2011.11.036>
8. Gillies RJ, Kinahan PE, Hricak H (2016) Radiomics: Images are more than pictures, they are data. *Radiology* 278:563–577. <https://doi.org/10.1148/radiol.2015151169>
9. Wu J, Cao G, Sun X, et al (2018) Intratumoral spatial heterogeneity at perfusion MR imaging predicts recurrence-free survival in locally advanced breast cancer treated

- with neoadjuvant chemotherapy. *Radiology* 288:26–35.
<https://doi.org/10.1148/radiol.2018172462>
10. Kim JH, Ko ES, Lim Y, et al (2017) Breast cancer heterogeneity: MR Imaging texture analysis and survival outcomes. *Radiology* 282:665–675.
<https://doi.org/10.1148/radiol.2016160261>
 11. Aghaei F, Tan M, Hollingsworth AB, Zheng B (2016) Applying a new quantitative global breast MRI feature analysis scheme to assess tumor response to chemotherapy. *J Magn Reson Imaging* 44:1099–1106. <https://doi.org/10.1002/jmri.25276>
 12. Waugh SA, Purdie CA, Jordan LB, et al (2016) Magnetic resonance imaging texture analysis classification of primary breast cancer. *Eur Radiol* 26:322–330.
<https://doi.org/10.1007/s00330-015-3845-6>
 13. Mazurowski MA, Zhang J, Grimm LJ, et al (2014) Radiogenomic analysis of breast cancer: Luminal B molecular subtype is associated with enhancement dynamics at MR imaging. *Radiology* 273:365–372. <https://doi.org/10.1148/radiol.14132641>
 14. Wan T, Bloch BN, Plecha D, et al (2016) A Radio-genomics Approach for Identifying High Risk Estrogen Receptor-positive Breast Cancers on DCE-MRI: Preliminary Results in Predicting OncotypeDX Risk Scores. *Sci Rep* 6:1–11.
<https://doi.org/10.1038/srep21394>
 15. Li H, Zhu Y, Burnside ES, et al (2016) MR imaging radiomics signatures for predicting the risk of breast cancer recurrence as given by research versions of MammaPrint, oncotype DX, and PAM50 gene assays. *Radiology* 281:382–391.
<https://doi.org/10.1148/radiol.2016152110>
 16. Zhang Q, Peng Y, Liu W, et al (2020) Radiomics Based on Multimodal MRI for the Differential Diagnosis of Benign and Malignant Breast Lesions. *J Magn Reson Imaging* 52:596–607. <https://doi.org/10.1002/jmri.27098>
 17. Perre S Vande, Duron L, Milon A, et al (2021) Radiomic analysis of HTR-DCE MR sequences improves diagnostic performance compared to BI-RADS analysis of breast MR lesions. *Eur Radiol* 31:4848–4859. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-07519-9>

18. Nie K, Chen JH, Yu HJ, et al (2008) Quantitative Analysis of Lesion Morphology and Texture Features for Diagnostic Prediction in Breast MRI. *Acad Radiol* 15:1513–1525. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2008.06.005>
19. McLaren CE, Chen WP, Nie K, Su MY (2009) Prediction of Malignant Breast Lesions from MRI Features. A Comparison of Artificial Neural Network and Logistic Regression Techniques. *Acad Radiol* 16:842–851. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2009.01.029>
20. Harvey JA, Hendrick RE, Coll JM, et al (2007) Artifacts: How to Recognize and Fix Them. *RadioGraphics* 27:131–146. <https://doi.org/https://doi.org/10.1148/rg.27si075514>
21. Balleyguier C, Thomassin-Naggara I (2015) Survival guide to mammographic BI-RADS updates. *Imag la Femme* 25:1–7. <https://doi.org/10.1016/j.femme.2015.01.001>
22. Ellis IO, Humphreys S, Michell M, et al (2004) Guidelines for breast needle core biopsy handling and reporting in breast screening assessment. *J Clin Pathol* 57:897–902. <https://doi.org/10.1136/jcp.2003.010983>
23. Kursu MB (2014) Robustness of Random Forest-based gene selection methods. *BMC Bioinformatics* 15:. <https://doi.org/10.1186/1471-2105-15-8>
24. Fay MP, Shaw PA (2014) Censored Data : The interval R package. *J Stat Softw* 36:. <https://doi.org/doi:10.18637/jss.v036.i02>
25. Marino MA, Clauser P, Woitek R, et al (2016) A simple scoring system for breast MRI interpretation: does it compensate for reader experience? *Eur Radiol* 26:2529–2537. <https://doi.org/10.1007/s00330-015-4075-7>
26. Malich A, Fischer DR, Wurdinger S, et al (2005) Potential MRI interpretation model: Differentiation of benign from malignant breast masses. *Am J Roentgenol* 185:964–970. <https://doi.org/10.2214/AJR.04.1073>
27. Fusco R, Di Marzo M, Sansone C, et al (2017) Breast DCE-MRI: lesion classification using dynamic and morphological features by means of a multiple classifier system. *Eur Radiol Exp* 1:1–7. <https://doi.org/10.1186/s41747-017-0007-4>

28. Kuhl CK, Mielcareck P, Klaschik S, et al (1999) Dynamic breast MR imaging: Are signal intensity time course data useful for differential diagnosis of enhancing lesions? *Radiology* 211:101–110. <https://doi.org/10.1148/radiology.211.1.r99ap38101>
29. Mahoney MC, Gatsonis C, Hanna L, et al (2012) Positive predictive value of BI-RADS MR imaging. *Radiology* 264:51–58. <https://doi.org/10.1148/radiol.12110619>
30. Sutton EJ, Huang EP, Drukker K, et al (2017) Breast MRI radiomics: comparison of computer- and human-extracted imaging phenotypes. *Eur Radiol Exp* 1:1–10. <https://doi.org/10.1186/s41747-017-0025-2>
31. Lee SH, Park H, Ko ES (2020) Radiomics in breast imaging from techniques to clinical applications: A review. *Korean J Radiol* 21:779–792. <https://doi.org/10.3348/kjr.2019.0855>
32. Parmar C, Velazquez ER, Leijenaar R, et al (2014) Robust radiomics feature quantification using semiautomatic volumetric segmentation. *PLoS One* 9:1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102107>
33. Saha A, Harowicz MR, Mazurowski MA (2018) Breast cancer MRI radiomics: An overview of algorithmic features and impact of inter-reader variability in annotating tumors. *Med Phys* 45:3076–3085. <https://doi.org/10.1002/mp.12925>
34. Vande Perre S, Duron L, Milon A, et al (2019) Radiomics: instructions for use. Methodology and examples of applications in women’s imaging. *Imag la Femme* 29:25–33. <https://doi.org/10.1016/j.femme.2019.01.003>
35. Reig B, Heacock L, Geras KJ, Moy L (2020) Machine learning in breast MRI. *J Magn Reson Imaging* 52:998–1018. <https://doi.org/10.1002/jmri.26852>
36. D’Amico NC, Grossi E, Valbusa G, et al (2020) A machine learning approach for differentiating malignant from benign enhancing foci on breast MRI. *Eur Radiol Exp* 4:1–8. <https://doi.org/10.1186/s41747-019-0131-4>
37. Greenwood HI (2019) Abbreviated protocol breast MRI: The past, present, and future. *Clin Imaging* 53:169–173. <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2018.10.017>

38. Mango VL, Morris EA, David Dershaw D, et al (2015) Abbreviated protocol for breast MRI: Are multiple sequences needed for cancer detection? *Eur J Radiol* 84:65–70.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2014.10.004>
39. Zhang L, Tang M, Min Z, et al (2016) Accuracy of combined dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging and diffusion-weighted imaging for breast cancer detection: A meta-analysis. *Acta radiol* 57:651–660.
<https://doi.org/10.1177/0284185115597265>
40. Nogueira L, Brandão S, Matos E, et al (2014) 1197-1203 Application of the diffusion kurtosis model for the study of breast lesions. *Eur Radiol* 24:1197–1203.
<https://doi.org/10.1007/s00330-014-3146-5>
41. Rizzo S, Botta F, Raimondi S, et al (2018) Radiomics: the facts and the challenges of image analysis. *Eur Radiol Exp* 2:. <https://doi.org/10.1186/s41747-018-0068-z>
42. Aydin H (2019) The Mri characteristics of non-mass enhancement lesions of the breast: Associations with malignancy. *Br J Radiol* 92:.
<https://doi.org/10.1259/bjr.20180464>

8. ABBREVIATIONS

AUC : Aire sous la courbe

DCE : dynamic contrast enhanced : séquence de rehaussement dynamique

CW : CURVE WASHOUT : pente relative descendante

FA : angle de bascule

FOV : field of view : champ de vision

IDN: Inverse difference normalized

IDMN: Inverse difference moment normalized

IMC: informal measure of correlation

LALGLE: large area low gray level emphasis

LGRE: Low gray run emphasis

LRHGLE: long run high gray level emphasis

LRLGLE: long run low gray level emphasis

P : Peak enhancement

PEI : intensité maximale du Peak

SER : signal enhancement ratio : ratio d'augmentation du signal

SRLGLE: short run low gray level emphasis

TE : temps d'écho

TME : time to maximal enhancement

TR : temps de relaxation

WO : washout : pente descendante

WI : washin : pente ascendante

SERMENT D'HIPPOCRATE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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