



HAL
open science

Apport d'un algorithme automatique de quantification du volume d'hémorragie sous-arachnoïdienne sur l'évaluation du risque de survenue d'ischémie cérébrale retardée

Thomas Corrias

► **To cite this version:**

Thomas Corrias. Apport d'un algorithme automatique de quantification du volume d'hémorragie sous-arachnoïdienne sur l'évaluation du risque de survenue d'ischémie cérébrale retardée. Sciences du Vivant [q-bio]. 2019. dumas-02370199

HAL Id: dumas-02370199

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02370199>

Submitted on 19 Nov 2019

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

**Apport d'un algorithme automatique de quantification du volume
d'hémorragie sous-arachnoïdienne sur l'évaluation du risque de survenue
d'ischémie cérébrale retardée**

T H È S E

Présentée et publiquement soutenue devant

LA FACULTÉ DES SCIENCES MEDICALES ET PARAMEDICALES

DE MARSEILLE

Le 2 Octobre 2019

Par Monsieur Thomas CORRIAS

Né le 13 juillet 1990 à Arles (13)

Pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

D.E.S. d' ANESTHÉSIE-RÉANIMATION

Membres du Jury de la Thèse :

Monsieur le Professeur BRUDER Nicolas

Président

Madame le Professeur GIRARD Nadine

Assesseur

Monsieur le Professeur VELLY Lionel

Directeur

Monsieur le Professeur DUFOUR Henry

Assesseur

AIX-MARSEILLE UNIVERSITE

Président : Yvon BERLAND

FACULTE DES SCIENCES MEDICALES ET PARAMEDICALES

Doyen Georges LEONETTI

Vice-doyen aux Affaires Générales et aux Sciences Médicales : Patrick DESSI
Vice-doyen aux Sciences Paramédicales : Philippe BERBIS

Direction d'école :

- **Ecole de Médecine** : Jean-Michel VITON
- **Ecoles de Maïeutique** : Carole ZAKARIAN
- **Ecoles des Sciences de la Réadaptation** : Philippe SAUVAGEON
- **Ecoles des Sciences Infirmières** : Sébastien COLSON

Assesseurs :

- aux Etudes : Kathia CHAUMOITRE
- à la Recherche : Jean-Louis MEGE
- aux Prospectives Hospitalo-Universitaires : Frédéric COLLART
- aux Enseignements Hospitaliers : Patrick VILLANI
- à l'Unité Mixte de Formation Continue en Santé : Fabrice BARLESI
- pour le Secteur Nord : Stéphane BERDAH
- aux centres hospitaliers non universitaires : Jean-Noël ARGENSON

Chargés de mission :

- 1^{er} cycle : Jean-Marc DURAND et Marc BARTHET
- 2^{ème} cycle : Marie-Aleth RICHARD
- 3^{ème} cycle DES/DESC : Pierre-Edouard FOURNIER
- Licences-Masters-Doctorat : Pascal ADALIAN
- DU-DIU : Véronique VITTON
- Stages Hospitaliers : Franck THUNY
- Sciences Humaines et Sociales : Pierre LE COZ
- Préparation à l'ECN : Aurélie DAUMAS
- Démographie Médicale et Filiation : Roland SAMBUC
- Relations Internationales : Philippe PAROLA
- Etudiants : Arthur ESQUER

Chef des services généraux : Déborah ROCCHICCIOLI

Chefs de service :

- Communication : Laetitia DELOUIS
- Examens : Caroline MOUTTET
- Intérieur : Joëlle FAVREGA
- Maintenance : Philippe KOCK
- Scolarité : Christine GAUTHIER

DOYENS HONORAIRES

M. Yvon BERLAND
M. André ALI CHERIF
M. Jean-François PELLISSIER

PROFESSEURS HONORAIRES

MM	AGOSTINI Serge	MM	FAVRE Roger
	ALDIGHIERI René		FIECHI Marius
	ALESSANDRINI Pierre		FARNARIER Georges
	ALLIEZ Bernard		FIGARELLA Jacques
	AQUARON Robert		FONTES Michel
	ARGEME Maxime		FRANCOIS Georges
	ASSADOURIAN Robert		FUENTES Pierre
	AUFFRAY Jean-Pierre		GABRIEL Bernard
	AUTILLO-TOUATI Amapola		GALINIER Louis
	AZORIN Jean-Michel		GALLAIS Hervé
	BAILLE Yves		GAMERRE Marc
	BARDOT Jacques		GARCIN Michel
	BARDOT André		GARNIER Jean-Marc
	BERARD Pierre		GAUTHIER André
	BERGOIN Maurice		GERARD Raymond
	BERNARD Dominique		GEROLAMI-SANTANDREA André
	BERNARD Jean-Louis		GIUDICELLI Roger
	BERNARD Pierre-Marie		GIUDICELLI Sébastien
	BERTRAND Edmond		GOUDARD Alain
	BISSET Jean-Pierre		GOUIN François
	BLANC Bernard		GRILLO Jean-Marie
	BLANC Jean-Louis		GRISOLI François
	BOLLINI Gérard		GROULIER Pierre
	BONGRAND Pierre		HADIDA/SAYAG Jacqueline
	BONNEAU Henri		HASSOUN Jacques
	BONNOIT Jean		HEIM Marc
	BORY Michel		HOUEL Jean
	BOTTA Alain		HUGUET Jean-François
	BOURGEADE Augustin		JAQUET Philippe
	BOUVENOT Gilles		JAMMES Yves
	BOUYALA Jean-Marie		JOUVE Paulette
	BREMOND Georges		JUHAN Claude
	BRICOT René		JUIN Pierre
	BRUNET Christian		KAPHAN Gérard
	BUREAU Henri		KASBARIAN Michel
	CAMBOULIVES Jean		KLEISBAUER Jean-Pierre
	CANNONI Maurice		LACHARD Jean
	CARTOUZOU Guy		LAFFARGUE Pierre
	CAU Pierre		LAUGIER René
	CHABOT Jean-Michel		LE TREUT Yves
	CHAMLIAN Albert		LEVY Samuel
	CHARREL Michel		LOUCHET Edmond
	CHAUVEL Patrick		LOUIS René
	CHOUX Maurice		LUCIANI Jean-Marie
	CIANFARANI François		MAGALON Guy
	CLEMENT Robert		MAGNAN Jacques
	COMBALBERT André		MALLAN- MANCINI Josette
	CONTE-DEVOLX Bernard		MALMEJAC Claude
	CORRIOL Jacques		MARANINCHI Dominique
	COULANGE Christian		MARTIN Claude
	DALMAS Henri		MATTEI Jean François
	DE MICO Philippe		MERCIER Claude
	DESSEIN Alain		METGE Paul
	DELARQUE Alain		MICHOTEY Georges
	DEVIN Robert		MILLET Yves
	DEVRED Philippe		MIRANDA François
	DJIANE Pierre		MONFORT Gérard
	DONNET Vincent		MONGES André
	DUCASSOU Jacques		MONGIN Maurice
	DUFOUR Michel		MONTIES Jean-Raoul
	DUMON Henri		NAZARIAN Serge
	ENJALBERT Alain		NICOLI René

MM 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
ROUX Michel
RUFO Marcel
SAHEL José
SALAMON Georges
SALDUCCI Jacques
SAN MARCO Jean-Louis
SANKALE Marc
SARACCO Jacques
SASTRE Bernard
SCHIANO Alain
SCOTTO Jean-Claude
SEBAHOUN Gérard
SERMENT Gérard
SERRATRICE Georges
SOULAYROL René
STAHL André
TAMALET Jacques
TARANGER-CHARPIN Colette
THOMASSIN Jean-Marc
UNAL Daniel
VAGUE Philippe
VAGUE/JUHAN Irène
VANUXEM Paul
VERVLOET Daniel
VIALETTES Bernard
WEILLER Pierre-Jean

PROFESSEURS 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 EMERITE

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	RUFUO 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

PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

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

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

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

PRAG

TANTI-HARDOUIN Nicolas

PROFESSEUR ASSOCIE DE MEDECINE GENERALE A MI-TEMPS

ADNOT Sébastien
 FILIPPI Simon

MAITRE DE CONFERENCES DES UNIVERSITES - PRATICIEN HOSPITALIER

ACHARD Vincent (<i>disponibilité</i>)	EBBO Mikaël	NGUYEN PHONG Karine
AHERFI Sarah	FABRE Alexandre	NINOVE Laetitia
ANGELAKIS Emmanouil (<i>dispo oct 2018</i>)	FAURE Alice	NOUGAIREDE Antoine
ATLAN Catherine (<i>disponibilité</i>)	FOLETTI Jean- Marc	OLLIVIER Matthieu
BARTHELEMY Pierre	FOUILLOUX Virginie	OVAERT Caroline
BEGE Thierry	FROMNOT Julien	PAULMYER/LACROIX Odile
BELIARD Sophie	GASTALDI Marguerite	PESENTI Sébastien
BERBIS Julie	GELSI/BOYER Véronique	RESSEGUIER Noémie
BERGE-LEFRANC Jean-Louis	GIUSIANO Bernard	REY Marc
BERTRAND Baptiste	GIUSIANO COURCAMBECK Sophie	ROBERT Philippe
BEYER-BERJOT Laura	GONZALEZ Jean-Michel	SABATIER Renaud
BIRNBAUM David	GOURIET Frédérique	SARI-MINODIER Irène
BONINI Francesca	GRAILLON Thomas	SAVEANU Alexandru
BOUCRAUT Joseph	GRISOLI Dominique	SECQ Véronique
BOULAMERY Audrey	GUERIN Carole	SUCHON Pierre
BOULLU/CIOCCA Sandrine	GUENOUN MEYSSIGNAC Daphné	TABOURET Emeline
BUFFAT Christophe	GUIDON Catherine	TOGA Caroline
CAMILLERI Serge	HAUTIER/KRAHN Aurélie	TOGA Isabelle
CARRON Romain	HRAIECH Sami	TOMASINI Pascale
CASSAGNE Carole	KASPI-PEZZOLI Elise	TOSELLO Barthélémy
CHAUDET Hervé	L'OLLIVIER Coralie	TROUSSE Delphine
CHRETIEN Anne-Sophie	LABIT-BOUVIER Corinne	TUCHTAN-TORRENTS Lucile
COZE Carole	LAFAGE/POCHITALOFF-HUVALE Marina	VELY Frédéric
CUNY Thomas	LAGIER Aude (<i>disponibilité</i>)	VION-DURY Jean
DADOUN Frédéric (<i>disponibilité</i>)	LAGOUANELLE/SIMEONI Marie-Claude	ZATTARA/CANNONI Hélène
DALES Jean-Philippe	LEVY/MOZZICONACCI Annie	
DAUMAS Aurélie	LOOSVELD Marie	
DEGEORGES/VITTE Joëlle	MANCINI Julien	
DELLIAUX Stéphane	MARY Charles	
DESPLAT/JEGO Sophie	MASCAUX Céline	
DEVILLIER Raynier	MAUES DE PAULA André	
DUBOURG Grégory	MILLION Matthieu	
DUFOUR Jean-Charles	MOTTOLA GHIGO Giovanna	

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

(mono-appartenants)

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

MAITRE DE CONFERENCES DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE

CASANOVA Ludovic
GENTILE Gaëtan

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES DE MEDECINE GENERALE à MI-TEMPS

BARGIER Jacques
BONNET Pierre-André
CALVET-MONTREDON Céline
GUIDA Pierre
JANCZEWSKI Aurélie

MAITRE DE CONFERENCES ASSOCIE à MI-TEMPS

MATHIEU Marion
REVIS Joana

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)
MAUES DE PAULA André (MCU-PH)
SECQ Véronique (MCU-PH)

**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)

GUIDON Catherine (MCU-PH)

ANGLAIS 11

BRANDENBURGER Chantal (PRCE)

**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)
GUYE Maxime (PU-PH)
MUNDLER Olivier (PU-PH) Surnombre
TAIEB David (PU-PH)

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

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

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

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

CLAVERIE Jean-Michel (PU-PH) Surnombre
GAUDART Jean (PU-PH)
GIORGI Roch (PU-PH)

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

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

ANTHROPOLOGIE 20

ADALIAN Pascal (PR)

DEGIOANNI/SALLE Anna (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)

AHERFI Sarah (MCU-PH)
ANGELAKIS Emmanouil (MCU-PH) disponibilité octobre 2018
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)
SAVEANU Alexandru (MCU-PH)

BIOLOGIE CELLULAIRE 4403

ROLL Patrice (PU-PH)

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

CARDIOLOGIE 5102

AVIERINOS Jean-François (PU-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 DIGESTIVE 5202

BERDAH Stéphane (PU-PH)
HARDWIGSEN Jean (PU-PH)
SIELEZNEFF Igor (PU-PH)

BEYER-BERJOT Laura (MCU-PH)

CHIRURGIE GENERALE 5302

DELPERO Jean-Robert (PU-PH)
MOUTARDIER Vincent (PU-PH)
SEBAG Frédéric (PU-PH)
TURRINI Olivier (PU-PH)

BEGE Thierry (MCU-PH)
BIRNBAUM David (MCU-PH)

CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE 5002

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

OLLIVIER Matthieu (MCU-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)
 SALAS Sébastien (PU-PH)
 VIENS Patrice (PU-PH)

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

CHIRURGIE THORACIQUE ET CARDIOVASCULAIRE 5103

COLLART Frédéric (PU-PH)
 D'JOURNO Xavier (PU-PH)
 DODDOLI Christophe (PU-PH)
 GARIBOLDI Vlad (PU-PH)
 MACE Loïc (PU-PH)
 THOMAS Pascal (PU-PH)

FOUILLOUX Virginie (MCU-PH)
 GRISOLI Dominique (MCU-PH)
 TROUSSE Delphine (MCU-PH)

CHIRURGIE VASCULAIRE ; MEDECINE VASCULAIRE 5104

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

HISTOLOGIE, EMBRYOLOGIE ET CYTOGENETIQUE 4202

LEPIDI Hubert (PU-PH)

ACHARD Vincent (MCU-PH) disponibilité
 PAULMYER/LACROIX Odile (MCU-PH)

DERMATOLOGIE - VENEREOLOGIE 5003

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

DUSI

COLSON Sébastien (MCF)

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)
 BOYER Laurent (PU-PH)
 GENTILE Stéphanie (PU-PH)
SAMBUC Roland (PU-PH) Surnombre
 THIRION Xavier (PU-PH)

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

MINVIELLE/DEVICTOR Bénédicte (MCF)(06ème section)
 TANTI-HARDOUIN Nicolas (PRAG)

CHIRURGIE INFANTILE 5402

GUYS Jean-Michel (PU-PH)
 JOUVE Jean-Luc (PU-PH)
 LAUNAY Franck (PU-PH)
 MERROT Thierry (PU-PH)
 VIEHWEGER Heide Elke (PU-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 PLASTIQUE, RECONSTRUCTRICE ET ESTHETIQUE ; BRÛOLOGIE 5004

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

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

GASTROENTEROLOGIE ; HEPATOLOGIE ; ADDICTOLOGIE 5201

BARTHET Marc (PU-PH)
 BERNARD Jean-Paul (PU-PH)
BOTTA-FRIDLUND Danielle (PU-PH) Surnombre
 DAHAN-ALCARAZ Laetitia (PU-PH)
 GEROLAMI-SANTANDREA René (PU-PH)
 GRANDVAL Philippe (PU-PH)
 GRIMAUD Jean-Charles (PU-PH)
 SEITZ Jean-François (PU-PH)
 VITTON Véronique (PU-PH)

GONZALEZ Jean-Michel (MCU-PH)

GENETIQUE 4704

BEROUD Christophe (PU-PH)
 KRAHN Martin (PU-PH)
 LEVY Nicolas (PU-PH)
 MONCLA Anne (PU-PH)
 SARLES/PHILIP Nicole (PU-PH)

NGYUEN Karine (MCU-PH)
 TOGA Caroline (MCU-PH)
 ZATTARA/CANNONI Héléne (MCU-PH)

GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE ; GYNECOLOGIE MEDICALE 5403

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

IMMUNOLOGIE 4703

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

FERON François (PR) (69ème section)

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

BOUCAULT/GARROUSTE Françoise (MCF) 65ème section)

MALADIES INFECTIEUSES ; MALADIES TROPICALES 4503

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

MILLION Matthieu (MCU-PH)

MEDECINE D'URGENCE 4805

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

**MEDECINE INTERNE ; GERIATRIE ET BIOLOGIE DU
 VEILLISSEMENT ; MEDECINE GENERALE ; ADDICTOLOGIE 5301**

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

EBBO Mikael (MCU-PH)

GENTILE Gaëtan (MCF Méd. Gén. Temps plein)

ADNOT Sébastien (PR associé Méd. Gén. à mi-temps)
 FILIPPI Simon (PR associé Méd. Gén. à mi-temps)

BARGIER Jacques (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)
 BONNET Pierre-André (MCF associé Méd. Gén à mi-temps)
 CALVET-MONTREDON Céline (MCF associé Méd. Gén. à temps plein)
 GUIDA Pierre (MCF associé Méd. Gén. à mi-temps)
 JANCZEWSKI Aurélie (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)

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)

IMMUNOLOGIE ; 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)

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/BENHAIM Caroline (MCF) (1ère section)

MEDECINE PHYSIQUE ET DE READAPTATION 4905

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

MEDECINE ET SANTE AU TRAVAIL 4602

LEHUCHER/MICHEL Marie-Pascale (PU-PH)

BERGE-LEFRANC Jean-Louis (MCU-PH)
 SARI/MINODIER Irène (MCU-PH)

NEPHROLOGIE 5203

BERLAND Yvon (PU-PH) Surnombre
 BRUNET Philippe (PU-PH)
 BURTEY Stéphanne (PU-PH)
 DUSSOL Bertrand (PU-PH)
 JOURDE CHICHE Noémie (PU PH)
 MOAL Valérie (PU-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)

OPHTALMOLOGIE 5502

DENIS Danièle (PU-PH)
 HOFFART Louis (PU-PH) *Disponibilité*
 MATONTI Frédéric (PU-PH) *Disponibilité*

PEDEPSYCHIATRIE; ADDICTOLOGIE 4904

DA FONSECA David (PU-PH)
 POINSO François (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)
 DEVEZE Arnaud (MCU-PH) *Disponibilité*
 REVIS Joana (MAST) (Orthophonie) (7ème Section)

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

BLIN Olivier (PU-PH)
 FAUGERE Gérard (PU-PH) *Surnombre*
 MICALLEF/ROLL Joëlle (PU-PH)
 SIMON Nicolas (PU-PH)
 BOULAMERY Audrey (MCU-PH)

PARASITOLOGIE ET MYCOLOGIE 4502

RANQUE Stéphane (PU-PH)
 CASSAGNE Carole (MCU-PH)
 L'OLLIVIER Coralie (MCU-PH)
 MARY Charles (MCU-PH)
 TOGA Isabelle (MCU-PH)

PHILOSOPHIE 17

LE COZ Pierre (PR) (17ème section)
 MATHIEU Marion (MAST)

PEDIATRIE 5401

ANDRE Nicolas (PU-PH)
 CHAMBOST Hervé (PU-PH)
 DUBUS Jean-Christophe (PU-PH)
 GIRAUD/CHABROL Brigitte (PU-PH)
 MICHEL Gérard (PU-PH)
 MILH Mathieu (PU-PH)
 REYNAUD Rachel (PU-PH)
 SARLES Jacques (PU-PH)
 TSIMARATOS Michel (PU-PH)
 COZE Carole (MCU-PH)
 FABRE Alexandre (MCU-PH)
 OVAERT Caroline (MCU-PH)
 TOSELLO Barthélémy (MCU-PH)

PHYSIOLOGIE 4402

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

BARTHELEMY Pierre (MCU-PH)
 BONINI Francesca (MCU-PH)
 BOULLU/CIOCCA Sandrine (MCU-PH)
 DADOUN Frédéric (MCU-PH) (*disponibilité*)
 DELLIAUX Stéphane (MCU-PH)
 REY Marc (MCU-PH)

PSYCHIATRIE D'ADULTES ; ADDICTOLOGIE 4903

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

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

PSYCHOLOGIE - PSYCHOLOGIE CLINIQUE, PCYCHOLOGIE SOCIALE 16

AGHABABIAN Valérie (PR)

PNEUMOLOGIE; ADDICTOLOGIE 5101**RADIOLOGIE ET IMAGERIE MEDICALE 4302**

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

ASTOUL Philippe (PU-PH)
 BARLESI Fabrice (PU-PH)
 CHANEZ Pascal (PU-PH)
 CHARPIN Denis (PU-PH) *Surnombre*
 GREILLIER Laurent (PU PH)
 REYNAUD/GAUBERT Martine (PU-PH)

MASCAUX Céline (MCU-PH)
 TOMASINI Pascale (MCU-PH)

REANIMATION MEDICALE ; MEDECINE URGENCE 4802

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

THERAPEUTIQUE; MEDECINE D'URGENCE; ADDICTOLOGIE 4804

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

DAUMAS Aurélie (MCU-PH)

RHUMATOLOGIE 5001

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

UROLOGIE 5204

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

REMERCIEMENTS

A mon jury de thèse

A Monsieur le Professeur Nicolas BRUDER,

Vous me faites Monsieur, le grand l'honneur de présider ce jury de thèse aujourd'hui.

Je vous suis très reconnaissant de l'intérêt que vous avez porté à mon travail.

Je tiens à saluer votre enseignement en tant que professeur de médecine d'une part

Et également vos compétences en tant que coordinateur de notre DES.

Veillez trouver Monsieur ici l'expression de mon profond respect.

A Monsieur le Professeur Lionel VELLY

J'ai été honoré que l'on travaille ensemble sur ce sujet de thèse.

Un grand merci pour toute cette disponibilité et cet accompagnement tout au long de ce travail.

Je suis très reconnaissant pour ton enseignement de haute qualité distillé chaque jour...

Également pour la transmission de la passion de notre métier.

Merci surtout pour toute cette confiance, et bienveillance...

Tu as mon plus profond et chaleureux respect.

A Madame la Professeure Nadine GIRARD,

Votre présence Madame, parmi les membres du jury est plus qu'un honneur.

Je suis enchanté que vous ailliez accepté mon invitation à participer à ce jury de thèse.

Je tiens à vous témoigner du grand intérêt que je porte à votre spécialité,

Et le du profond respect que je porte au métier de Radiologue.

Merci Madame, pour le regard d'expert que vous apporterez pour juger ce travail.

A Monsieur le Professeur Henry DUFFOUR

Merci Monsieur d'avoir répondu sans hésiter à ma demande de participation à ce jury de thèse.

C'est un grand honneur pour moi que de pouvoir soumettre mon travail à votre expertise.

Je tiens à vous témoigner du profond respect porté à votre spécialité ainsi qu'aux hommes et aux femmes qui pratiquent la chirurgie.

Veillez trouver ici Monsieur, l'expression de mon profond respect.

TABLE DES MATIERES

ABREVIATIONS.....	4
RESUME.....	5
1. INTRODUCTION.....	6
2. MATERIELS ET METHODES.....	10
2.1. CONCEPTION DE L'ETUDE ET POPULATION ETUDIEE	10
2.2. GESTION CLINIQUE	10
2.3. ÉVALUATION CLINIQUE DES EXAMENS SCANOGRAPHIQUES	11
2.4. ANALYSE QUANTITATIVE AUTOMATISEE.....	12
2.5. COLLECTE DE DONNEES, DEFINITION DE L'ICR ET EVALUATION DES RESULTATS	16
2.6. ANALYSE STATISTIQUE	16
3. RESULTATS	18
3.1. CARACTERISTIQUES GENERALES	18
3.2. ANALYSE DU SANG PAR NOTRE ALGORITHME.....	20
3.3. ANALYSE DU RISQUE D'ICR	24
3.4. ANALYSE DU RISQUE D'HYDROCEPHALIE AIGUË	30
3.5. ANALYSE DU PRONOSTIC NEUROLOGIQUE A 3 MOIS	34
4. DISCUSSION.....	38
5. CONCLUSION	43
ANNEXES	49

TABLE DES ILLUSTRATIONS

TABLEAU 1. DONNEES DEMOGRAPHIQUES ET CARACTERISTIQUES CLINIQUES DES PATIENTS EN FONCTION DE LA SURVENUE OU NON D'UNE ICR.	25
TABLEAU 2. RELATIONS ENTRE SCORES RADIOLOGIQUES, VOLUMES DE SANG ET ICR	27
TABLEAU 3. RELATIONS ENTRE SCORES RADIOLOGIQUES, VOLUMES DE SANG ET VASOSPASME	28
TABLEAU 4. DONNEES DEMOGRAPHIQUES ET CARACTERISTIQUES CLINIQUES DES PATIENTS EN FONCTION DE LA SURVENUE OU NON D'UNE HYDROCEPHALIE AIGUË	31
TABLEAU 5. RELATIONS ENTRE SCORES RADIOLOGIQUES, VOLUMES DE SANG ET HYDROCEPHALIE AIGUE	32
TABLEAU 6. DONNEES DEMOGRAPHIQUES ET CARACTERISTIQUES CLINIQUES DES PATIENTS EN FONCTION DU DEVENIR NEUROLOGIQUE A 3 MOIS	35
TABLEAU 7. RELATIONS ENTRE SCORES RADIOLOGIQUES, VOLUMES DE SANG ET LE DEVENIR NEUROLOGIQUE A 3 MOIS	36
TABLEAU 8. SYSTEMES DE CLASSEMENT RADIOLOGIQUE DES HEMORRAGIES MENINGEES	49
TABLEAU 9. AIRES SOUS LA COURBE, VALEURS SEUILS, SENSIBILITES ET SPECIFICITES DES DIFFERENTS SCORES CLINIQUES ET RADIOLOGIQUES AINSI QUE LES ANALYSES VOLUMETRIQUES DE NOTRE ALGORITHME POUR LA PREDICTION D'UNE ICR.	52
TABLEAU 10. AIRES SOUS LA COURBE, VALEURS SEUILS, SENSIBILITES ET SPECIFICITES DES DIFFERENTS SCORES CLINIQUES ET RADIOLOGIQUES AINSI QUE DES ANALYSES VOLUMETRIQUES DE NOTRE ALGORITHME POUR LA PREDICTION D'UNE L'HA.	53
TABLEAU 11. AIRES SOUS LA COURBE, VALEURS SEUILS, SENSIBILITES ET SPECIFICITES DES DIFFERENTS SCORES CLINIQUES ET RADIOLOGIQUES AINSI QUE DES ANALYSES VOLUMETRIQUES DE NOTRE ALGORITHME POUR LA PREDICTION DE L'EVOLUTION NEUROLOGIQUE	54
FIGURE 1. ÉCHELLE D'ABSORPTION DE HOUNSFIELD AU NIVEAU DU CRANE	13
FIGURE 2. VISUALISATION 3D DU MASQUE UTILISE POUR ETUDIER LE VOLUME DE SANG PRESENT DANS L'ESPACE CISTERNAL (EN ROUGE)	14
FIGURE 3. VISUALISATION 3D DU MASQUE UTILISE POUR ETUDIER LE VOLUME DE SANG PRESENT DANS LE SYSTEME VENTRICULAIRE (EN BLEU)	15
FIGURE 4. EXEMPLE D'EVALUATION D'UN PATIENT.....	15
FIGURE 5. FLOW-CHART.....	19
FIGURE 6. VOLUME DE SANG TOTAL (A), CISTERNAL (B), INTRA PARENCHYMATEUX (C), ET INTRA VENTRICULAIRE (D) EN FONCTION DU SCORE WFNS.....	20
FIGURE 7. VOLUME DE SANG TOTAL EN FONCTION DE LA LOCALISATION DE L'ANEVRISME	21
FIGURE 8 CORRELATION ENTRE LES SCORES DE FISHER MODIFIE (A ET B), D'HIJRA TOTAL(C), ET D'HIJRA CISTERNAL (D) AVEC LES VOLUMES DE SANG TOTAL (A ET C) ET CISTERNAL (B ET D)	22
FIGURE 9. CORRELATION ENTRE LE VOLUME DE SANG ESTIME AVEC LE SCORE IVHA (A) ET DE SCORE D'HIJRA INTRAVENTRICULAIRE (B) AVEC VOLUME DE SANG INTRAVENTRICULAIRE MESURE PAR L'ALGORITHME (A ET B).....	23
FIGURE 10. COMPARAISON DES COURBES ROC DU SCORE DE FISHER, DU SCORE D'HIJRA ET DU VOLUME DE SANG CISTERNAL MESURE PAR NOTRE ALGORITHME POUR LA PREDICTION DE L'ISCHEMIE CEREBRALE RETARDEE	29
FIGURE 11. COMPARAISON DES COURBES ROC DU SCORE DE FISHER, DU SCORE IVH, DU SCORE D'HIJRA ET DU VOLUME VENTRICULAIRE MESURE PAR NOTRE ALGORITHME POUR LA PREDICTION DE L'HYDROCEPHALIE AIGUË.	33
FIGURE 12. COMPARAISON DES COURBES ROC POUR LES SCORES DE FISHER, D'HIJRA, DE L'IGS-2 ET DU VOLUME DE SANG TOTAL MESURE PAR NOTRE ALGORITHME POUR LA PREDICTION DU DEVENIR NEUROLOGIQUE A 3 MOIS	37

ABREVIATIONS

HSA, hémorragie sous arachnoïdienne

DVE, dérivation ventriculaire externe

ICR, ischémie cérébrale retardée

HA, hydrocéphalie aiguë

DVE, drainage ventriculaire externe

DTC, échographie doppler transcrânien

HIV, hémorragie intraventriculaire

HIP, hématome intra parenchymateux

TDM, tomodensitométrie

WFNS, World Federation of Neurosurgical Societies

IGS2, index de gravité simplifié 2

GOSE, Glasgow Outcome Scale Extended

IQR, interquartile

ROC, caractéristique de fonctionnement du récepteur

ROC_{AUC}, aire ROC sous la courbe

IC95%, intervalle de confiance à 95%

OR, odds ratios

RESUME

Objectif : L'hémorragie sous-arachnoïdienne (HSA) par rupture d'anévrisme est une pathologie grave, grevée d'une morbi-mortalité importante avec un risque élevé d'ischémie cérébrale retardée (ICR) et d'hydrocéphalie aiguë (HA). Dans le but de prédire ces complications, nous avons développé une méthode automatique de quantification du volume de l'HSA. L'objectif était de comparer les performances de cet outil aux échelles radiologiques de référence en terme prédiction de survenue d'une ICR et d'une HA et d'un mauvais devenir neurologique.

Matériel et méthode : Il s'agit d'une étude rétrospective observationnelle mono centrique sur une cohorte de patients atteints d'HSA anévrismale. Nous avons créé un algorithme de détection automatisé du sang basé sur la densité spécifique du caillot sanguin sur le premier scanner cérébral. Le caillot de sang a été segmenté pour analyse en différentes régions d'intérêt (parenchyme total, sus tentorial, cisternal, intra-ventriculaire). Nous avons collecté les données relatives aux paramètres cliniques et scanographiques initiaux, ainsi que l'évolution neurologique à 3 mois. La valeur prédictive de notre modèle a été comparée à l'aide de l'aire sous la courbe ROC (ROC_{AUC}) à 8 échelles radiologiques différentes : les scores de Fisher, Fisher modifié, Claassen, BNI, Hijdra, Graeb, LeRoux et IVH.

Résultats : Nous avons analysé les scanners initiaux de 145 patients victimes d'une HSA. Dans notre cohorte, 51 patients (43%) se sont compliqués d'une ICR et 70 patients (54%) d'une HA. A 3 mois, 22% des patients étaient décédés et 19% avaient des séquelles neurologiques sévères (GOSE 2-4). Le volume de sang intracrânien médian était de 20 [10-42] mL, et le volume cisternal médian de 13 [8-22] mL. Le volume de sang cisternal était significativement corrélé au score d'Hijdra cisternal ($R^2 : 0,79 ; P < 0,001$). Le volume de sang cisternal avait une ROC_{AUC} non significativement différente de celle du score d'Hijdra pour prédire la survenue d'une ICR ($ROC_{AUC} : 0,83$ (IC95% 0,75-0,89) vs. 0,86 (IC95% 0,79-0,9); $P = 0,23$). Le volume des ventricules avait une ROC_{AUC} non significativement différente de celle du score IVH pour prédire la survenue d'une HA ($ROC_{AUC} : 0,78$ (IC95% 0,70-0,84) vs. 0,79 (IC95% 0,72-0,85); $P = 0,28$). Enfin, les volumes de sang total, sus tentorial, et intra parenchy avaient une ROC_{AUC} non significativement différente de celle du score IGS-2 pour prédire la survenue d'une mauvaise évolution neurologique à 3 mois ($ROC_{AUC} : 0,75$ (IC95% 0,67-0,82) vs. 0,81 (IC95% 0,74-0,87); $P = 0,073$).

Conclusion : Notre algorithme ne nécessitant aucune intervention manuelle s'est montré aussi performant que les meilleurs des scores radiologiques pour prédire la survenue d'une ICR, d'une HA, et l'évolution neurologique à 3 mois.

1. INTRODUCTION

L'hémorragie sous-arachnoïdienne (HSA), ou hémorragie méningée, est une pathologie rare mais grave. L'incidence des HSA est stable autour de 9 pour 100 000 habitants par an (1,2). Elle est provoquée dans la majorité des cas par la rupture d'un anévrisme d'une artère intracrânienne. Celle-ci peut concerner par ordre de fréquence : l'artère communicante antérieure, les artères communicantes postérieures, les artères cérébrales moyennes, la portion terminale des artères carotides internes, les artères vertébrales et le tronc basilaire, ainsi que les artères cérébelleuses postéro-inférieures (3). La rupture d'un anévrisme intracrânien est associée à des taux élevés de décès immédiats, de l'ordre de 33% mais aussi à une mortalité hospitalière pouvant atteindre 25%. A 6 mois, 17% des patients présentent un déficit neurologique résiduel et 58% des patients ont un retour à l'état antérieur.

A la phase aiguë d'une HSA, le resaignement de l'anévrisme non sécurisé constitue la complication précoce la plus redoutable. Elle survient chez près de 15% des patients dans les 24 premières heures. Ce risque impose un traitement rapide par exclusion chirurgicale ou endovasculaire de l'anévrisme. Un autre risque est constitué par la fréquence élevée de survenue d'une hydrocéphalie aiguë (HA) et donc d'hypertension intracrânienne. Le traitement repose sur la mise en place d'une dérivation ventriculaire externe (DVE), dont le but consiste au monitoring et au contrôle de la pression intracrânienne.

Une fois l'anévrisme sécurisé, la principale complication demeure l'apparition d'un déficit neurologique *de novo* lié à une ischémie cérébrale retardée (ICR). Celle-ci se développe chez 30% des patients à la suite d'un vasospasme artériel sévère et d'un phénomène de dépression corticale extensive responsable d'une diminution du flux sanguin cérébral (4). La temporalité est bien décrite et s'exprime dans les 3 premières semaines après l'événement initial, avec un risque maximal entre le 7ème et le 10ème jour (5). La physiopathologie du

vasospasme reste incomplètement expliquée. On estime que 70% des patients présentent un vasospasme artériel symptomatique ou non durant cette période. La détection, la prévention et le traitement de ces ICR représentent un enjeu majeur car à l'origine de lourdes séquelles neurologiques à long terme. Un des challenges actuels consiste à anticiper la survenue de ces complications et d'identifier précocement les patients à risque qui nécessitent une surveillance intensive prolongée, de ceux ne relevant que d'une hospitalisation conventionnelle (6).

Depuis l'introduction de la tomodensitométrie cérébrale, de nombreux scores ont été développés pour classer les HSA et prédire la survenue des complications. Publié dans les années 80, le score de Fisher est un score qualitatif de la sévérité du saignement, il est associé au développement de l'ICR (7). Des études ultérieures ont cependant remis en cause la pertinence de ce test qualitatif, parfois peu discriminant dans la pratique entre les groupes, et dont l'interprétation peut être subjective (8). Ainsi des versions modifiées de ce score, le score de Fisher modifié (9) et le score de Claassen (10) ont été élaborées, et obtiennent de meilleurs résultats dans la prédiction du risque des complications. Toutefois la variabilité interindividuelle de ces scores est importante (11–13) et la taille réelle du caillot n'est pas appréciée. Plus récemment, une échelle scanographique semi-quantitative d'évaluation du caillot sanguin a été décrite par Hijdra (14). Ce score a pour but d'apprécier le volume de sang de chacune des citernes de la base et des fissures séparément, selon une échelle de 0 (absence de sang) à 3 (beaucoup de sang), sur un score total de 30. De la même manière, le sang intra ventriculaire est évalué sur une échelle de 0 à 12, pour un score total sur 42. Plusieurs études (13,15–17) retrouvent une bonne corrélation entre le score d'Hijdra total, l'occurrence de l'ICR, et le mauvais devenir neurologique. En outre, il possède une faible variabilité inter individuelle comparé aux scores qualitatifs de Fisher et de Classen (12,13). Malgré de bonnes

performances, le score d'Hijdra est sous utilisé dans la pratique quotidienne car relativement complexe et chronophage à calculer (18). En parallèle, une échelle semi quantitative de sang intra ventriculaire, l'IVH score, a montré son utilité dans la prédiction de l'hydrocéphalie aiguë (19). Dans une étude (20) publiée en 1993, Broderick réalise une analyse quantitative du sang d'HSA chez 188 malades. Il utilise une méthode de contourage manuel de l'hématome sur chacune des images scanographiques d'une épaisseur de 1cm. Associé au Glasgow initial, le calcul du volume de sang permet de prédire la survie à 3 mois. En 2002, Friedman *et coll.* (21), également par technique de contourage de sang, ont montré qu'un volume de sang total et cisternal supérieur à 20-21 mL étaient fortement associés à la survenue d'une ICR, chez 15 patients classés Fisher 3 ou 4. En 2011, Ko *et coll.* (22) ont retrouvé un résultat identique chez un échantillon plus large de 160 patients avec des gravités diverses. Toutefois ces nouvelles méthodes basées sur le contourage de l'hématome restent soumises à une variabilité interindividuelle et sont chronophages. Récemment, des méthodes quantitatives automatiques ont été développées, basées sur l'hyperdensité spécifique du sang en TDM. Van der Steen *et coll.* (23), qui ont utilisé cette méthode sur 282 malades, ont retrouvé une association entre le volume de sang cisternal et le risque de développer une ICR. Par contre, ils n'ont pas mis en évidence d'associations entre la survenue d'une ICR et les volumes de l'hémorragie intraventriculaire (HIV), d'un hématome intra parenchymateux (HIP), ou d'un hématome sous dural.

Dans le cadre de ce travail de thèse, nous avons développé un algorithme de détection et de segmentation automatique du volume de l'HSA et du système ventriculaire sur le premier scanner cérébral après l'ictus.

Le but de cette étude a consisté à comparer dans une population d'HSA admise en unité de soins critiques les performances de notre algorithme aux échelles radiologiques

existantes dans la prédiction de survenue d'une ICR, d'une HA et d'un mauvais devenir neurologique à 3 mois.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Conception de l'étude et population étudiée

L'étude a porté sur une cohorte rétrospective monocentrique de patients atteints d'HSA anévrismale admis sur une période de 72 mois (du 1er janvier 2011 au 1er janvier 2017) dans notre unité de soins critiques au Centre Hospitalo-Universitaire de la Timone à Marseille. Le Comité d'Éthique pour la Recherche en Anesthésie Réanimation (CERAR) a attesté que notre étude ne soulevait pas de problème éthique particulier.

Les critères d'inclusion étaient : 1) un âge supérieur à 18 ans, 2) un diagnostic d'HSA associé à une rupture anévrismale confirmée par angioscanner ou angiographie cérébrale, et 3) une tomodensitométrie (TDM) cérébrale disponible avant toute intervention neurochirurgicale (drainage ventriculaire externe, exclusion d'anévrisme ou traitement endovasculaire.)

Les critères d'exclusion de l'analyse étaient : (1) une HSA d'étiologie non anévrismale (traumatisme crânien, malformation artério-veineuse, dissection artérielle ou l'absence d'anévrisme prouvée par TDM cérébrale ou par angiographie), (2) la présence d'artéfacts intracrâniens (matériel d'embolisation antérieure ou clip chirurgical), (3) une absence de TDM initiale, ou TDM incomplète, ou obtenue plus de 24 heures après le saignement initial. Les patients décédés précocement avant le 7ème jour suivant l'HSA ont été également exclus de l'analyse de la survenue d'une ICR.

2.2. Gestion clinique

Tous les patients ont été pris en charge dans notre unité spécialisée de soins critiques et traités selon un protocole standardisé conforme aux recommandations européennes relatives aux HSA anévrismales(24). Le protocole a consisté en l'administration intraveineuse ou per-os systématique de Nimodipine, en la mise en place d'une DVE avec monitoring des

pressions intraventriculaires en cas d'HA (BACTISEAL[®], DePuy Synthes, Saint-Priest, France), et en la mesure continue de la pression artérielle sanguine pour les patients de grade WFNS 2 à 5.

Tous les anévrismes ont été sécurisés dans les 24 heures suivant l'admission par embolisation endovasculaire ou par chirurgie.

Tous les patients ont été suivis régulièrement par échographie doppler transcrânienne (DCT) (25) (Philips CX50[®] avec transducteur S5-1, Philips Healthcare, Suresnes, France), pour le dépistage du vasospasme.

Tous les patients présentant des symptômes neurologiques jugés suspects de vasospasme ont bénéficié d'une angiographie par TDM, suivie d'une angiographie classique en cas de vasospasme modéré ou sévère. Des TDM cérébrales répétées ont été effectuées : (1) systématiquement pour tous les patients après un traitement d'anévrisme, (2) sélectivement dans les cas de nouveaux déficits neurologiques, et/ou lors d'un état prolongé d'altération de la conscience, (3) chez les patients dont la vitesse moyenne du flux sanguin au DTC est supérieure à 120 cm/s dans l'artère cérébrale moyenne ou antérieure ou dont la variation de la vitesse moyenne quotidienne de DTC est supérieure à 50 cm/s (25),(4) de manière systématique 6 semaines après l'HSA ou à la sortie de l'hôpital.

Les vasospasmes ont été traités médicalement par hypertension artérielle contrôlée. Dans les formes sévères une angioplastie chimique intra-artérielle (Milrinone et Nimodipine), et/ou une angioplastie mécanique au ballonnet (ballonnet Hyper-Glide[™] ou Scepter-C[™]) ont été réalisées.

2.3. Évaluation clinique des examens scanographiques

Pour chaque patient, les TDM initiaux (32 coupes) ont été examinés rétrospectivement par deux cliniciens indépendamment de la connaissance des données cliniques, y compris de

la présence de vasospasmes. Chaque patient a été évalué selon 8 systèmes différents de classifications : le score de Fisher (7), le score de Fisher modifié (9), l'échelle de Claassen (10), l'échelle BNI (26), le score d'Hijdra (15), l'échelle de Graeb (27), l'échelle de LeRoux (28) et le score IVH (19).

Le score de Fisher, le score de Fisher modifié, et l'échelle de Claassen divisent les HSA en 4 groupes selon les caractéristiques de l'HSA et la présence d'une HIV. L'échelle BNI est une méthode semi-quantitative qui évalue la quantité de sang dans le compartiment sous-arachnoïdien(26). Le score Hijdra est une méthode semi-quantitative qui évalue à la fois le sang du compartiment sous-arachnoïdien et le sang intraventriculaire. L'échelle de Graeb, l'échelle de LeRoux et le score IVH sont des scores de quantification de l'HIV. Chaque système de classement est détaillé dans le tableau 8 de l'annexe.

2.4. Analyse quantitative automatisée

Nous avons développé un algorithme Python entièrement automatisé de détection et de quantification et de segmentation des volumes de l'HSA, et des volumes du système ventriculaire en TDM (voir algorithme python en annexes) Nous avons utilisé la bibliothèque de logiciel FMRIB (FSL) pour la manipulation mathématique des images et l'analyse structurelle des données des examens d'imagerie. Le principe de détection des différentes structures cérébrales et du caillot sanguin se base sur les différences de densité apparente de ces structures en TDM. En effet, l'image TDM est une représentation sur une échelle de gris des valeurs des coefficients d'atténuation linéaire pour chaque voxel de l'image. Les coefficients d'atténuation sont exprimés en unités Hounsfield (UH), et dépendent de la nature du tissu (Figure 1).

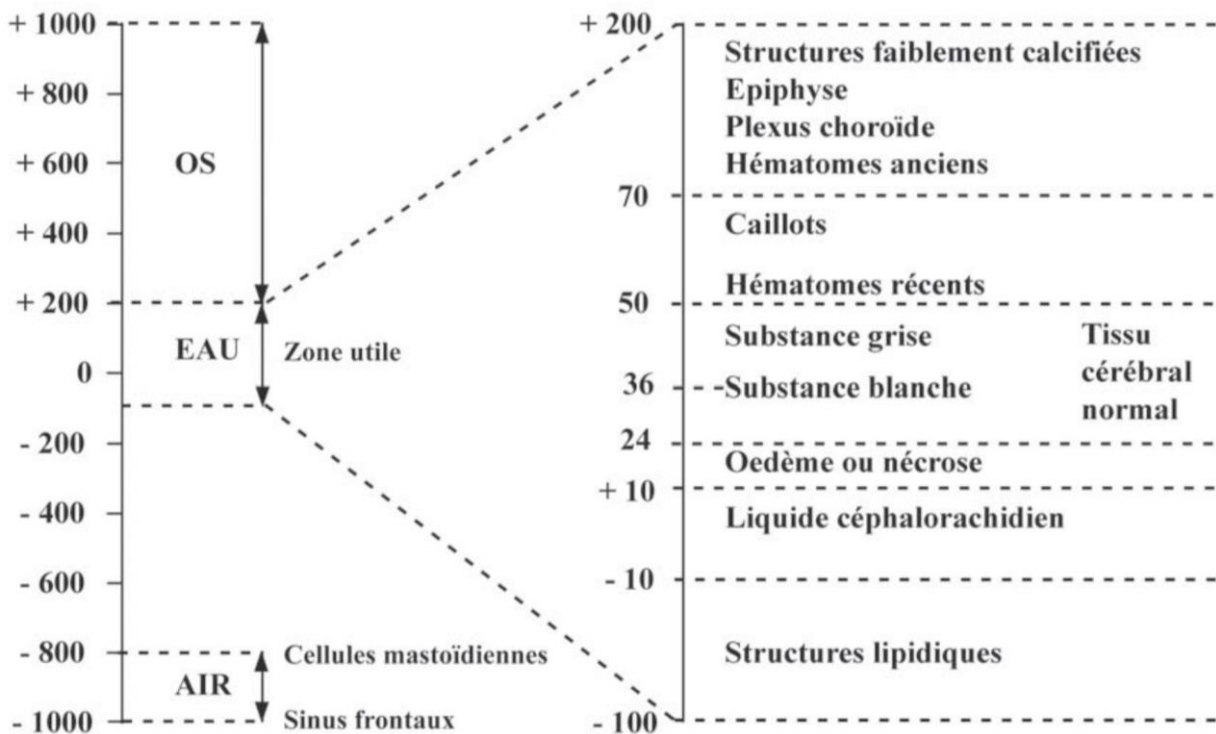


Figure 1. Échelle d'absorption de Hounsfield au niveau du crâne

Lors de la phase aiguë d'une HSA, le caillot de sang apparaît relativement plus dense que les structures cérébrales adjacentes. Après analyse des images TDM, les valeurs de densité comprises entre 47 UH et 95 UH ont été choisies comme seuil de détection du caillot de sang. Cette fenêtre de détection semblait le mieux refléter la taille réelle du caillot. Afin d'analyser l'effet du sang intracrânien en fonction de sa localisation cérébrale, nous avons segmenté les images TDM du cerveau en régions d'intérêt à l'aide de masques originaux ou issus d'un atlas. Les masques originaux ont été créés par nos soins à partir d'une imagerie par résonance magnétique type pour une meilleure résolution spatiale (voir figure 2 et 3 ci-après). Ces régions d'intérêt correspondent :

-Au parenchyme cérébral. L'extraction de ce dernier a été effectuée grâce à la fonction spécifique *Brain Extraction* (BET) du logiciel FSL. Nous l'avons également segmenté en étage

sus et sous-tentorial, pour analyser séparément la fosse postérieure sujette à des artéfacts de durcissement (29). Les sinus veineux intracrâniens de densité proche du sang ont été retirés de l'analyse, via un calque spécifique. La substance grise périphérique est sujette à artéfact de durcissement et à un effet de volume partiel lié à l'os cortical adjacent, qui augmente artificiellement son coefficient d'atténuation (29). Afin de limiter cet effet, nous avons déterminé une fenêtre de détection plus étroite pour cette région (55 UH à 95 UH).

- Aux 10 espaces sous arachnoïdiens étudiés dans le score Hijdra (la fissure frontale inter-hémisphérique, la citerne quadrigéminale, les deux citernes supra-sellaires, les deux citernes ambiantes, les deux fissures sylviennes basales et les deux fissures sylviennes latérales). Nous avons nommé cette région d'intérêt : l'espace cisternal.

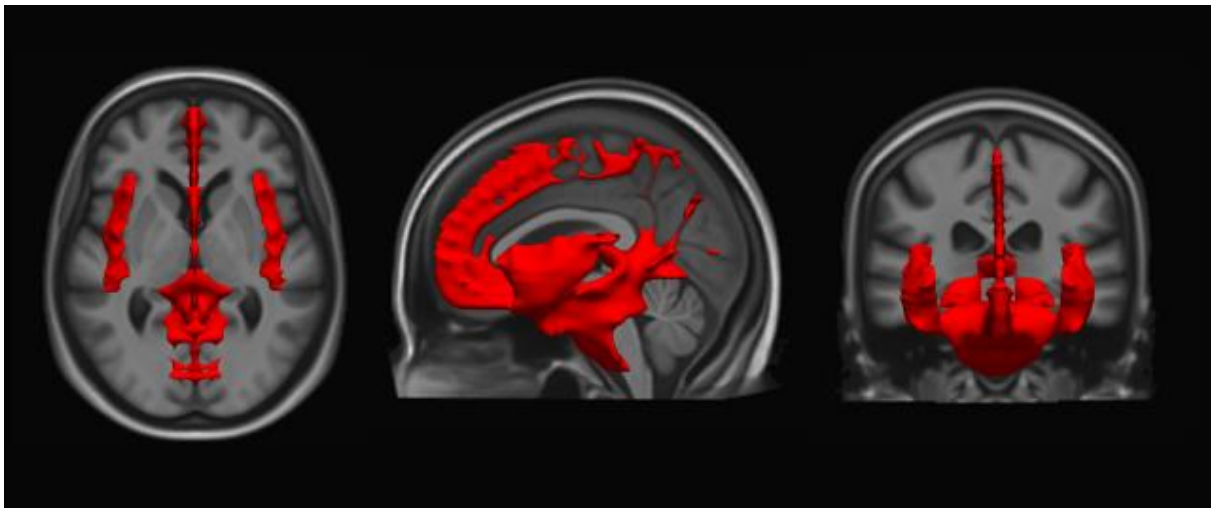


Figure 2. Visualisation 3D du masque utilisé pour étudier le volume de sang présent dans l'espace cisternal (en rouge)

- Au sang localisé dans le système ventriculaire (ventricules latéraux, 3^{ème} et 4^{ème} ventricules). L'espace ventriculaire a été détecté et mesuré suivant sa densité en fonction de cartes de probabilité de localisation. Les plexus choroïdes intra ventriculaires ont été retirés de l'analyse (figure 3). Un exemple d'évaluation du patient est illustré à la figure 4.

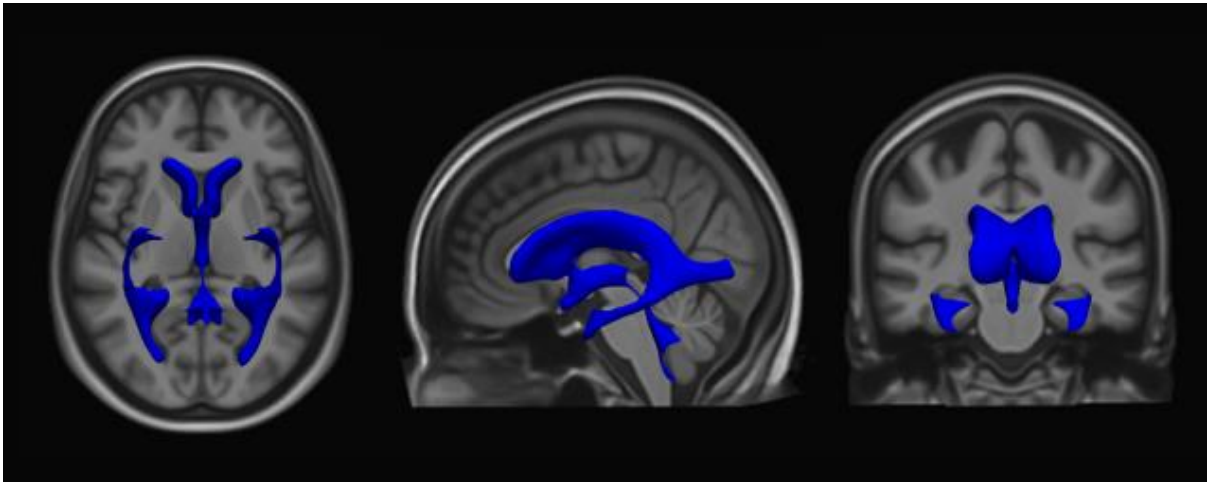


Figure 3. Visualisation 3D du masque utilisé pour étudier le volume de sang présent dans le système ventriculaire (en bleu)

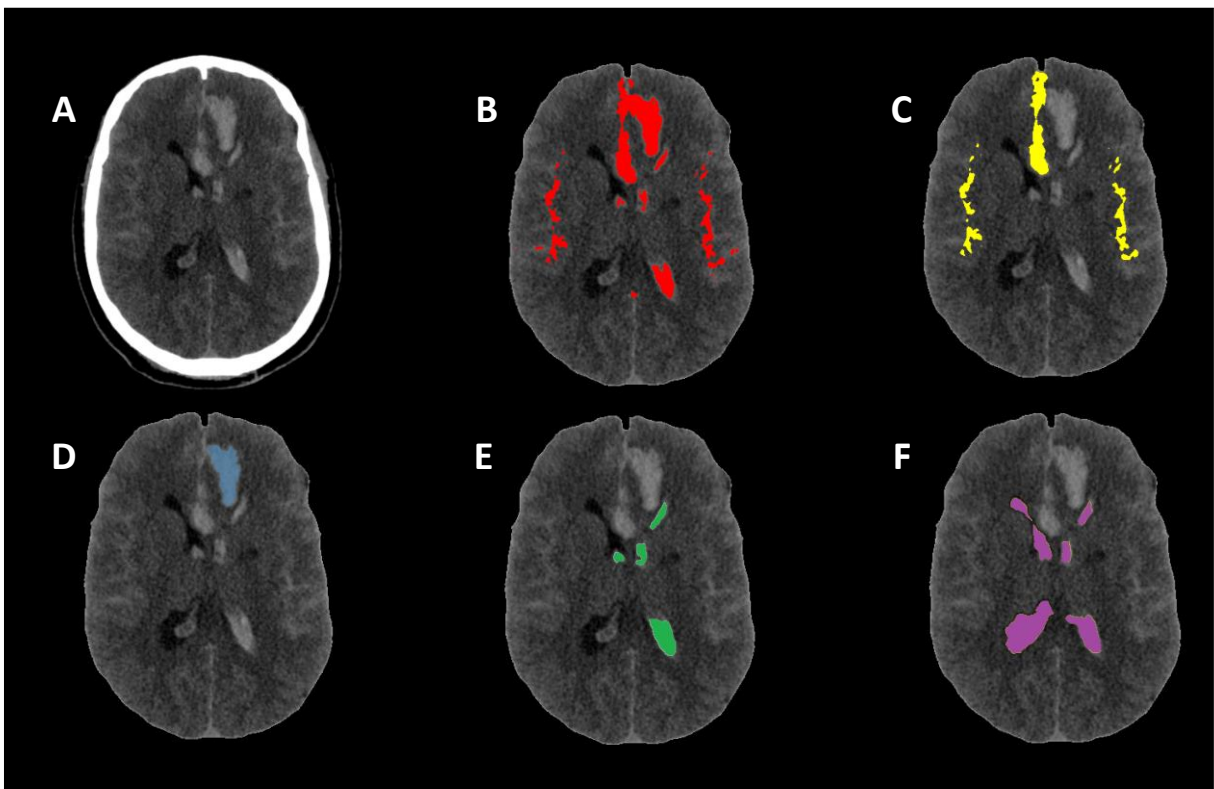


Figure 4. Exemple d'évaluation d'un patient

- (A) Scanner natif. (B) *Brain extraction* et détection du sang total. (C) Sang cisternal.
 (D) Hémorragie intra parenchymateuse. (E) Hémorragie intra ventriculaire.
 (F) Système ventriculaire

2.5. Collecte de données, définition de l'ICR et évaluation des résultats

Les données relatives aux caractéristiques cliniques telles que l'âge, le sexe, l'échelle du coma de Glasgow (30) et l'échelle de la World Fédération of Neurosurgery (WFNS) (31) ont été enregistrées à l'admission (détail des scores en annexes.). L'index de gravité simplifié 2 (IGS-2) a été calculé dans les 24 heures suivant l'admission dans notre unité. La présence, la localisation et la taille de l'anévrisme ont été identifiées par angiographie TDM ou angiographie cérébrale.

L'ICR a été définie, selon les dernières recommandations (32) comme :

- l'apparition de signes neurologiques focaux et/ou une réduction d'au moins 2 points sur l'échelle du coma de Glasgow, pendant plus d'une heure, associée à un vasospasme cérébral, lui-même confirmé par angiographie TDM ou angiographie cérébrale,
- ou, un nouvel infarctus cérébral détecté par scanner (6 semaines après une HSA ou avant la sortie de l'hôpital), et après exclusion de tout infarctus associé à la procédure. L'ICR a été retenue lorsque les autres causes de détérioration neurologique, telles que l'HA, le resaignement, les convulsions ou les anomalies électrolytiques, étaient exclues.

L'hydrocéphalie aiguë a été définie comme la nécessité de la mise en place d'une dérivation ventriculaire externe dans les 72 heures suivant l'admission.

L'évolution neurologique a été mesurée 3 mois après le saignement à l'aide de l'échelle Glasgow Outcome Scale Extended (GOSE) (33,34) et dichotomisée en : mauvais résultat (GOSE 1-4) et bon résultat (GOSE 5-8)(détail du score en annexes).

2.6. Analyse statistique

Les caractéristiques des patients ont été comparées en fonction des critères de jugement étudiés : ICR, HA ayant nécessité une DVE, ainsi que l'évolution neurologique à trois

mois. Les moyennes et les écarts-types ont été utilisés pour les distributions normales des variables continues ; les médianes et intervalles interquartiles (IQR) pour les variables non continues. La comparaison entre les variables continues de deux groupes a été évaluée au moyen d'un test t à deux échantillons non appariés (normalement distribué) ou d'un test de Wilcoxon-Mann-Whitney U (sans hypothèse de distribution). Les différences entre les variables catégorielles ont été évaluées au moyen du test exact de Fisher. Une analyse univariée par modèle de régression logistique a été réalisée afin de déterminer les odds ratio (OR) des différents scores radiologiques, ainsi que des volumes de sang générés par notre algorithme. La fonction d'efficacité du récepteur (ROC) a été tracée pour déterminer l'aire sous la courbe ROC (ROC_{AUC}) et la valeur limite optimale des échelles de classement qui prédisent le mieux les critères de jugement (ICR, HA nécessitant une DVE, mauvaise évolution à 3 mois). Les courbes ROC de notre algorithme automatique et des scores radiologiques ont été comparées en utilisant la méthode décrite par DeLong *et coll.* Toutes les statistiques ont été réalisées à l'aide de JMP (version 11.0, SAS, Cary, USA) à l'exception des analyses ROC, qui ont été réalisées avec MedCalc (version 9.2, MedCalc Software, Ostende, Belgique). La signification statistique a été supposée à des valeurs P égales ou inférieures à 0,05.

3. RESULTATS

3.1. Caractéristiques générales

Sur la période d'étude (janvier 2011 à janvier 2017), 270 patients ont été hospitalisés dans notre unité de soins critiques pour une HSA sur rupture d'anévrisme intracrânien. Parmi ces patients, 145 respectaient les critères d'inclusion (Figure 5). L'âge médian de notre cohorte était de 54 [46-64] ans et 58% des patients étaient des femmes.

A l'admission, 55 % des patients avaient un score WFNS supérieur ou égal à 3 avec un score de Glasgow médian à 12 [7-14] et 22% des patients présentaient un déficit neurologique de type moteur, phasique, ou visuel. Concernant la prise en charge de l'anévrisme, 68% ont été traités par embolisation, et 22% par chirurgie. Dix pour cent des patients n'ont pu bénéficier d'un traitement de l'anévrisme en raison d'un décès précoce, ou d'une limitation des soins.

La durée médiane de séjour en réanimation était de 13 [6-25] jours. La survenue d'une complication à type d'ICR ou d'HA était responsable d'une augmentation significative de la durée médiane de séjour, respectivement 22 [16-36] jours et 22 [12-41] jours. Ces deux complications augmentaient également la survenue d'une évolution neurologique défavorable (Tableau 1 et 3).

La mortalité au cours de l'hospitalisation était de 24%. Dans la cohorte, 25 patients décédèrent avant le 7^{ème} jour d'hospitalisation. Ils n'ont pas été inclus dans l'analyse de l'ICR. A trois mois, 40,6 % des patients présentaient une évolution neurologique défavorable (GOSE1-4).

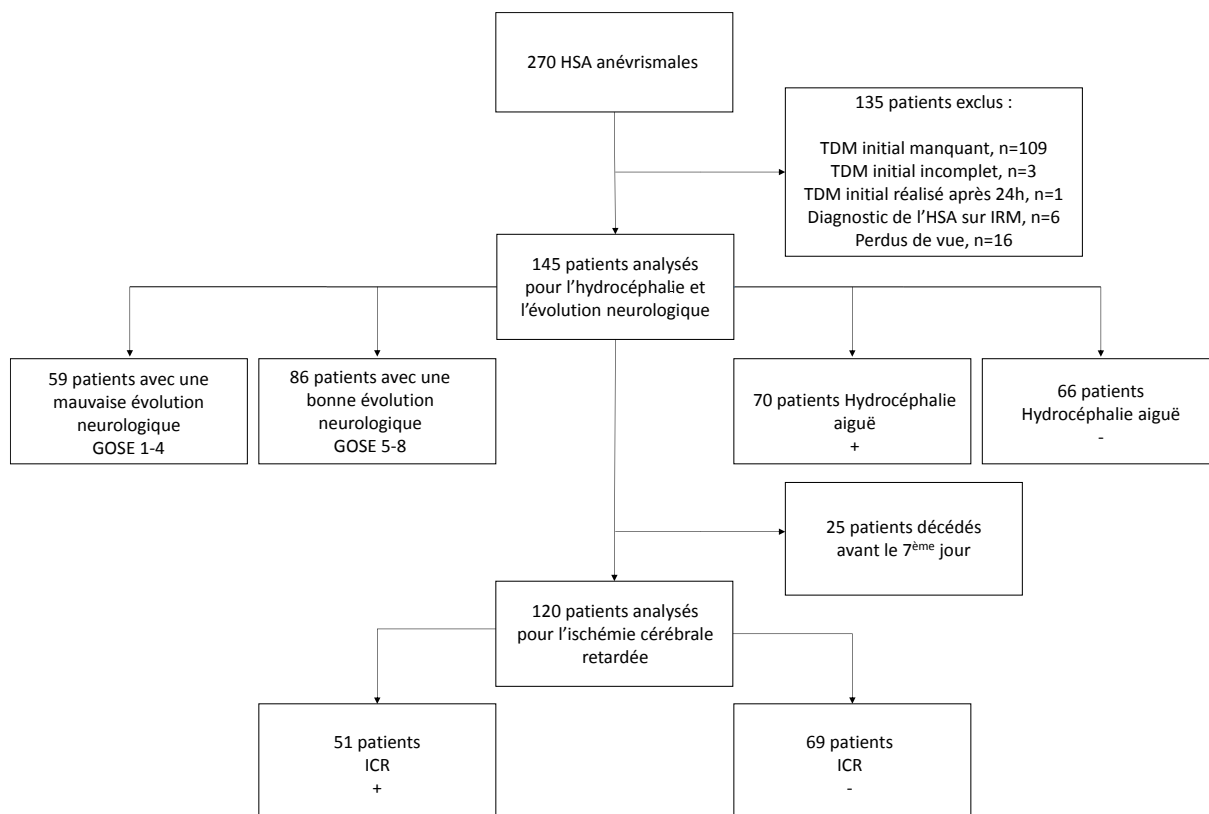


Figure 5. Flow-chart

3.2. Analyse du sang par notre algorithme

Dans notre cohorte, le volume de sang total médian calculé par notre algorithme était de 20 [10-42] mL. Le volume de sang cisternal moyen calculé par notre analyse était de 13 [8-22] mL. Les patients WFNS 4 et 5 avaient significativement plus de sang total, intra parenchymateux et intraventriculaire que les patients WFNS 1 et 2 (Figure 6).

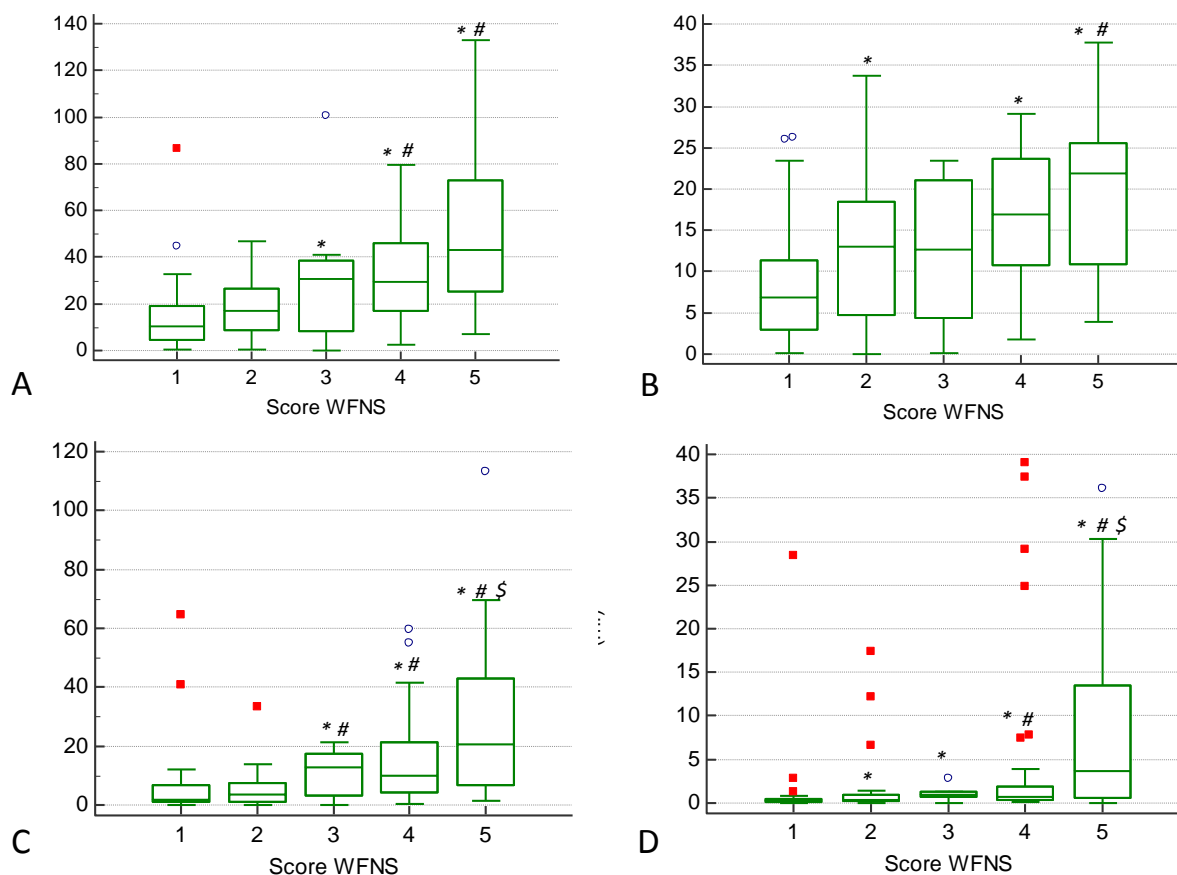


Figure 6. Volume de sang total (A), cisternal (B), intra parenchymateux (C), et intra ventriculaire (D) en fonction du score WFNS.

* = $P < 0,05$ vs. WFNS 1 ; # = $P < 0,05$ vs. WFNS 2 ; \$ = $P < 0,05$ vs. WFNS 3.

Il n'existe pas de différence significative de volume de sang total (Figure 7) ou cisternal (résultats non montrés) en fonction de la localisation de l'anévrisme.

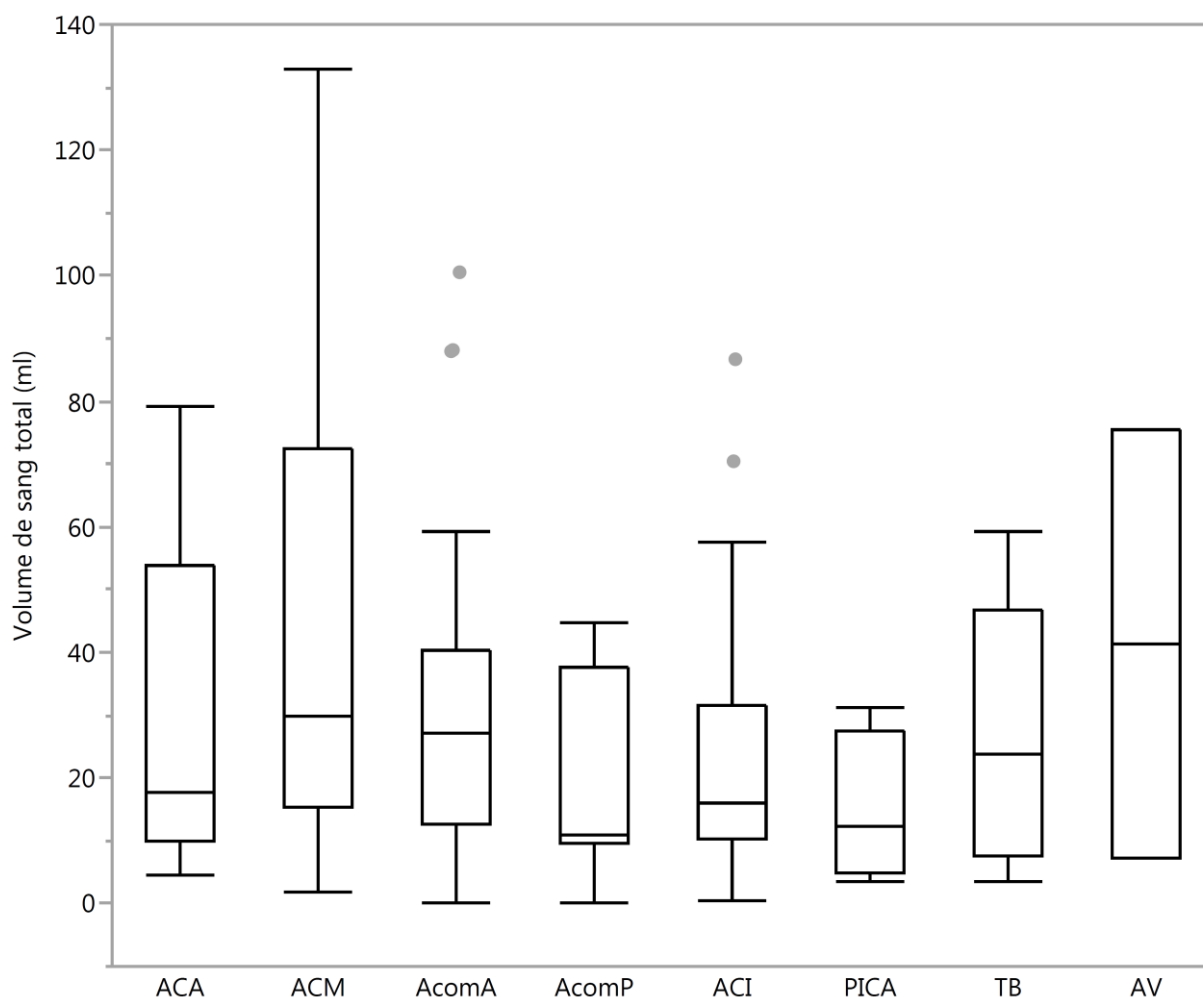


Figure 7. Volume de sang total en fonction de la localisation de l'anévrisme

ACA : artères cérébrales antérieures, AComA : artère communicante antérieure, ACM : artères cérébrales moyennes, ACI : artères carotides internes, AComP : artères communicantes postérieures, ACP : artères cérébrales postérieures, PICA : artères cérébelleuses postéro-inférieures, TB : tronc basilaire, AV : artères vertébrales.

Une faible corrélation était retrouvée entre le volume de sang total et le volume de sang cisternal avec le score de Fischer modifié (respectivement $R^2=0,16$ et $R^2=0,28$). Le volume de sang cisternal présentait une bonne corrélation avec le score d'Hijdra cisternal ($R^2=0,60$) (Figure 8). La corrélation entre le volume de sang total et le score d'Hijdra total était moins bonne ($R^2=0,34$).

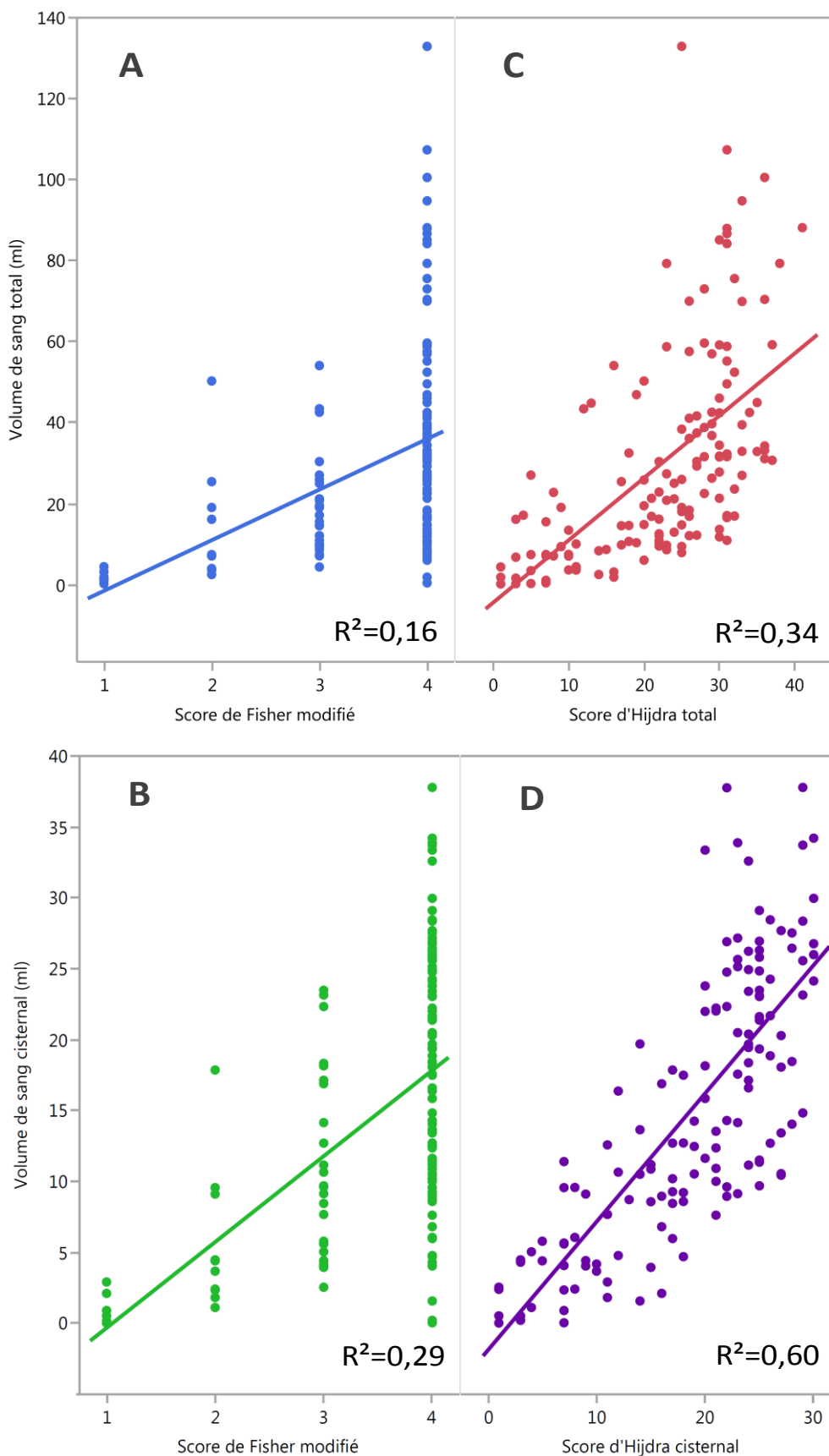


Figure 8 Corrélation entre les scores de Fisher modifié (A et B), d'Hijdra total(C), et d'Hijdra cisternal (D) avec les volumes de sang total (A et C) et cisternal (B et D)

Dans notre cohorte, 76% des patients avaient une HIV (Score HIV, LeRoux et Graeb différent de 0). Le volume médian d'HIV était de 0,5 [0,2-2,7] mL. Le coefficient de corrélation entre le volume d'hémorragie intraventriculaire mesuré par l'algorithme et le volume d'hémorragie intra ventriculaire estimé avec le score IVH était élevé ($R^2=0,77$) (Figure 9).

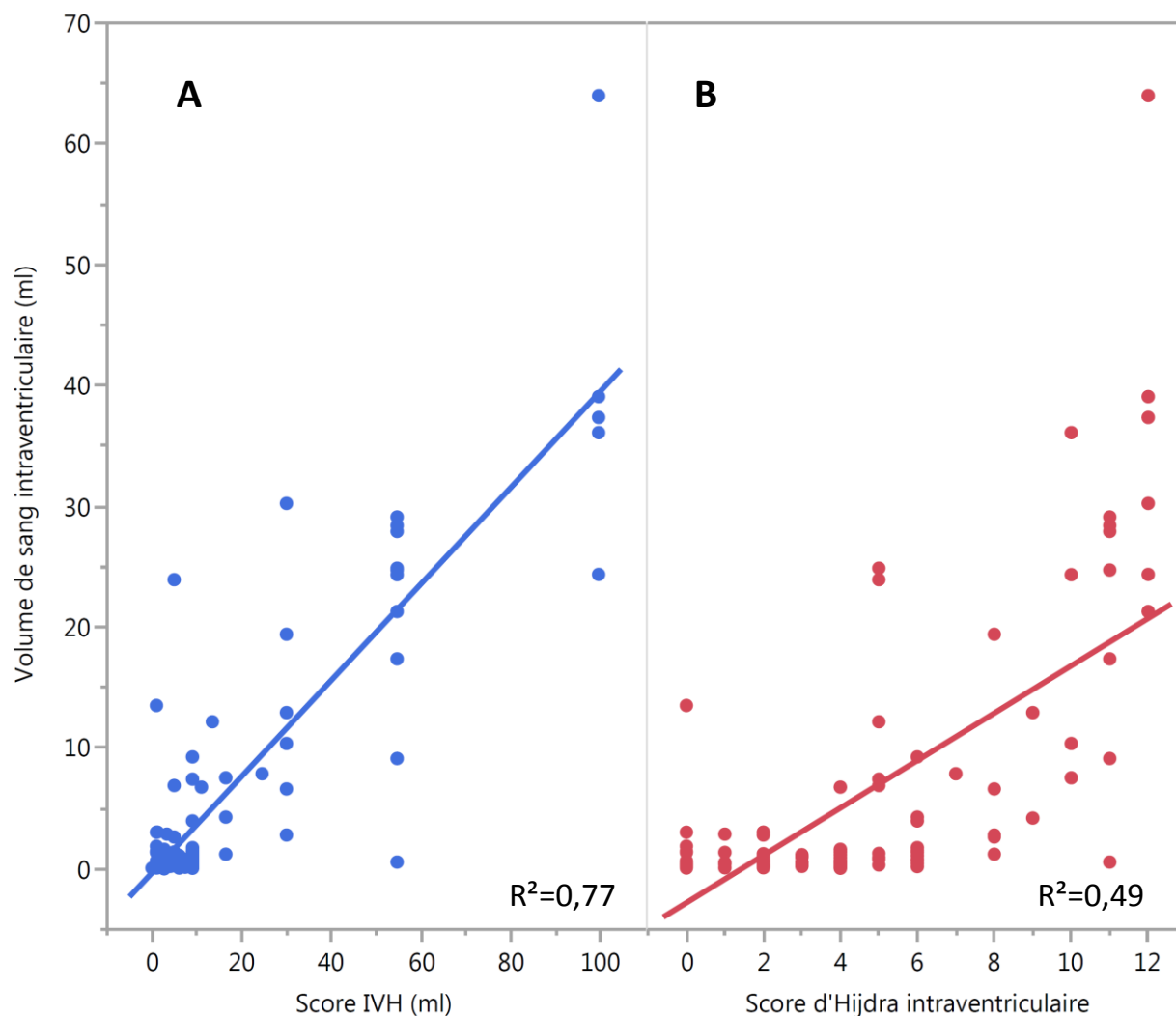


Figure 9. Corrélation entre le volume de sang estimé avec le score IVHA (A) et de score d'Hijdra intraventriculaire (B) avec volume de sang intraventriculaire mesuré par l'algorithme (A et B)

3.3. Analyse du risque d'ICR

Dans notre cohorte, 42,5% des patients ayant survécu au-delà des 7 premiers jours (n=51) ont développé une ICR. Devant la survenue d'un vasospasme, la moitié des patients (50%) ont bénéficié d'une angioplastie chimique et/ou mécanique, en plus d'un traitement médical par Nimodipine. Dans notre cohorte, le risque de développer une ICR était indépendant de l'âge et du sexe du malade. En revanche, il était associé à la gravité initiale du tableau, évaluée par les scores de Glasgow, WFNS et à l'IGS-2. La taille et la localisation de l'anévrisme n'influençaient pas la survenue d'une ICR. La survenue d'un vasospasme angiographique, d'une hydrocéphalie aiguë ou d'un œdème aigu du poumon neurogénique augmentait le risque d'ICR. La survenue d'une ICR était significativement associée à un moins bon devenir neurologique sur l'échelle de GOSE à 3 mois. Le tableau 1 ci-après rassemble les caractéristiques des patients en fonction du développement d'une ICR.

Tableau 1. Données démographiques et caractéristiques cliniques des patients en fonction de la survenue ou non d'une ICR.

	Ischémie cérébrale retardée (ICR)			P
	Total (n=120)	ICR - (n=69)	ICR + (n=51)	
<u>Caractéristique démographique</u>				
Sexe masculin — n (%)	56 (38)	27 (24)	22 (18)	0.35
Age	53 [46-63]	54 [47-64]	52 [42-59]	0.16
<u>Présentation clinique initiale</u>				
Glasgow	13[8-15]	14 [10-15]	11 [7-14]	0.016
IGS II	30[21-47]	28 [20-40]	34 [26-49]	0.024
WFNS	2 [1-4]	2 [1-4]	4 [2-4]	0.0079
III-V — n (%)	63 (52)	27 (36)	36 (58)	0.0063
<u>Caractéristiques de l'anévrisme-</u>				
Circulation antérieure — n (%)	97 (80)	56 (81)	41 (80)	0.91
Circulation postérieure — n (%)	33 (27)	16 (23)	17 (33)	0.28
Volume anévrisme — (mL)	0,5 [0-1]	0,5 [0-1]	0,5 [0-1]	0.18
<u>Traitement — n (%)</u>				
Embolisation	93 (73)	53 (76)	40 (78)	0.83
Chirurgie	27 (22)	16 (23)	11 (21)	0.83
<u>Complications — n (%)</u>				
Hydrocéphalie aiguë + DVE	67 (55)	32 (46)	35 (68)	0.014
Hématome intracérébral	35 (25)	21 (28)	14 (22)	0,67
Resaignement	8 (6)	5 (7)	3 (5)	0.76
OAP neurogénique	6 (4)	0 (0)	6 (11)	0.010
Vasospasme angiographique	47 (39)	1 (1)	46 (90)	<0.001
Comitialité	6 (4)	2 (2)	4 (7)	0,22
<u>Evolution clinique — n (%)</u>				
Evolution neurologique défavorable 3 mois	34 (28)	13 (18)	21 (41)	0.0073
Mortalité hospitalière	10 (8)	4 (5)	6 (11)	0.24

En analyse univariée, tous les scores radiologiques étudiés, notamment ceux de Claassen et d'Hijdra ($P < 0,0001$), étaient prédictifs du risque de développer une ICR. Concernant notre algorithme de détection, les résultats étaient en faveur d'un lien entre la quantité de sang total (OR: 1,02; IC95% 1,0 – 1,1; $P = 0,008$) et le risque de développer une ICR. Après segmentation, le volume de sang au niveau cisternal était le plus fortement lié au risque d'ICR (OR: 1,1; IC95% 1,0-1,2; $P < 0,0001$). Le volume de sang cisternal médian était de 18 ml [13-24] dans le groupe qui développait une ICR contre 8 ml [4-13] dans le groupe indemne. Le volume des ventricules et la quantité de sang intraventriculaire, n'étaient pas associés au risque de développer une ICR. De tous les scores radiologiques, le score Hijdra était le plus fortement associé au risque de vasospasme ($P < 0,0001$). Le volume de sang cisternal était le seul volume de sang de notre algorithme associé au risque de vasospasme (OR: 1,1; IC95% 1,0-1,2; $P < 0,0001$). Les tableaux 2 et 3 ci-après résument les résultats des analyses univariées.

Tableau 2. Relations entre scores radiologiques, volumes de sang et ICR

	Ischémie cérébrale retardée (ICR)			OR (IC95%)	P
	Total (n=120)	ICR - (n=69)	ICR + (n=51)		
<i>Scores radiologiques</i>					
Fischer (1-4)	4 [4-4]	4 [3-4]	4 [4-4]	3,2 (1,2-8,1)	0,0036
Fischer modifié (0-4)	4 [3-4]	4 [2-4]	4 [4-4]	3,4 (1,7-6,9)	0,0001
Claassen (0-4)	3 [3-4]	3[2-4]	4 [3-4]	2,7 (1,5-4,9)	<0,0001
BNI (1-5)	4 [3-5]	4[3-5]	5 [4-5]	2,3 (1,4-3,7)	0,0002
Hijdra (0-42)	23 [13-29]	17 [8-23]	29 [24-32]	1,2 (1,1-1,3)	<0,0001
Graeb (0-12)	2 [0-4]	1 [0-3]	3 [2-5]	1,1 (1,0-1,2)	0,031
Leroux (0-16)	3 [0-6]	2 [0-4]	4 [2-8]	1,1 (1,0-1,2)	0,021
IVH (0-23)	5 [0-11]	4 [0-10]	9 [4-11]	1,03 (1,0-1,1)	0,049
<i>Analyses volumétriques (mL)</i>					
Sang total	19 [9-34]	14 [6-29]	27[16-34]	1,02 (1,0-1,1)	0,008
Sang supra-tentorial	15 [7-28]	10 [4-24]	20 [13-31]	1,02 (1,01-1,03)	0,025
Sang intra parenchymateux	5 [1-12]	3 [1-11]	6 [3-13]	1,0 (0,9-1,1)	0,70
Sang cisternal	12 [5-20]	8 [4-13]	18 [13-24]	1,1 (1,0-1,2)	<0,0001
Sang intra ventriculaire	0,4 [0,2-1]	0,3 [0,2-1]	0,6 [0,2-1]	1,0 (0,9-1,1)	0,99
Système ventriculaire	32 [19-47]	32 [17-50]	32 [22-42]	1,0 (0,9-1,1)	0,99

Tableau 3. Relations entre scores radiologiques, volumes de sang et vasospasme

	Vasospasme (ICR)			OR (IC95%)	P
	Total	Vasospasme	Vasospasme		
	(n=120)	- (n=73)	+ (n=47)		
<i>Scores radiologiques</i>					
Fischer (1-4)	4 [4-4]	4 [3-4]	4 [4-4]	2,3 (1,0-5,3)	0,028
Fischer modifié (0-4)	4 [3-4]	4 [3-4]	4 [4-4]	2,7 (1,4-5,1)	0,0002
Claassen (0-4)	3 [3-4]	3[3-4]	4 [3-4]	2,4 (1,4-4,3)	0,0002
BNI (1-5)	4 [3-5]	4[3-5]	4 [4-5]	1,1 (1,1-1,2)	0,011
Hijdra (0-42)	23 [13-29]	18 [9-25]	28 [24-31]	1,2 (1,1-1,3)	<0,0001
Graeb (0-12)	2 [0-4]	2 [0-4]	3 [2-5]	1,1 (0,9-1,2)	0,10
Leroux (0-16)	3 [0-6]	2 [0-5]	4 [2-8]	1,0 (0,9-1,1)	0,07
IVH (0-23)	5 [0-11]	5 [0-10]	8 [2-11]	1,03 (0,9-1,1)	0,22
<i>Analyses volumétriques (mL)</i>					
Sang total	19 [9-34]	14 [7-32]	25 [16-36]	1,0 (0,9-1,1)	0,050
Sang supra-tentorial	15 [7-28]	10 [4-27]	20 [13-29]	1,0 (0,9-1,1)	0,08
Sang intra parenchymateux	5 [1-12]	3 [1-12]	6 [2-12]	1,0 (0,9-1,1)	0,90
Sang cisternal	12 [5-20]	9 [4-15]	18 [12-24]	1,1 (1,0-1,2)	<0,0001
Sang intra ventriculaire	0,4 [0,2-1,4]	0,4 [0,2-1,2]	0,6 [0,3-1,5]	1,0 (0,9-1,1)	0,94
Système ventriculaire	32 [19-47]	34 [19-50]	30 [19-39]	1,0 (0,9-1,1)	0,44

Afin d'évaluer la performance de notre algorithme de quantification du sang concernant la prédiction du risque d'ICR nous l'avons comparé aux courbes ROC des scores radiologiques et cliniques d'intérêt (tableau 9 en annexe). Le score d'Hijdra était significativement supérieur aux autres scores radiologiques avec une ROC_{AUC} à 0,84 (IC95% 0,79-0,90). Le score de Fisher était statistiquement inférieur avec une ROC_{AUC} à 0,58 (IC95% 0,49-0,67). Le volume de sang cisternal mesuré par notre algorithme avait une ROC_{AUC} à 0,80 (IC95% 0,72-0,87) non significativement différente du score d'Hijdra ($P=0,23$; Figure 10). Le seuil idéal de prédiction d'une ICR était un volume de sang cisternal supérieur ou égal à 10 mL avec une sensibilité de 86% (IC95 74-94) et une spécificité de 64% (52-75).

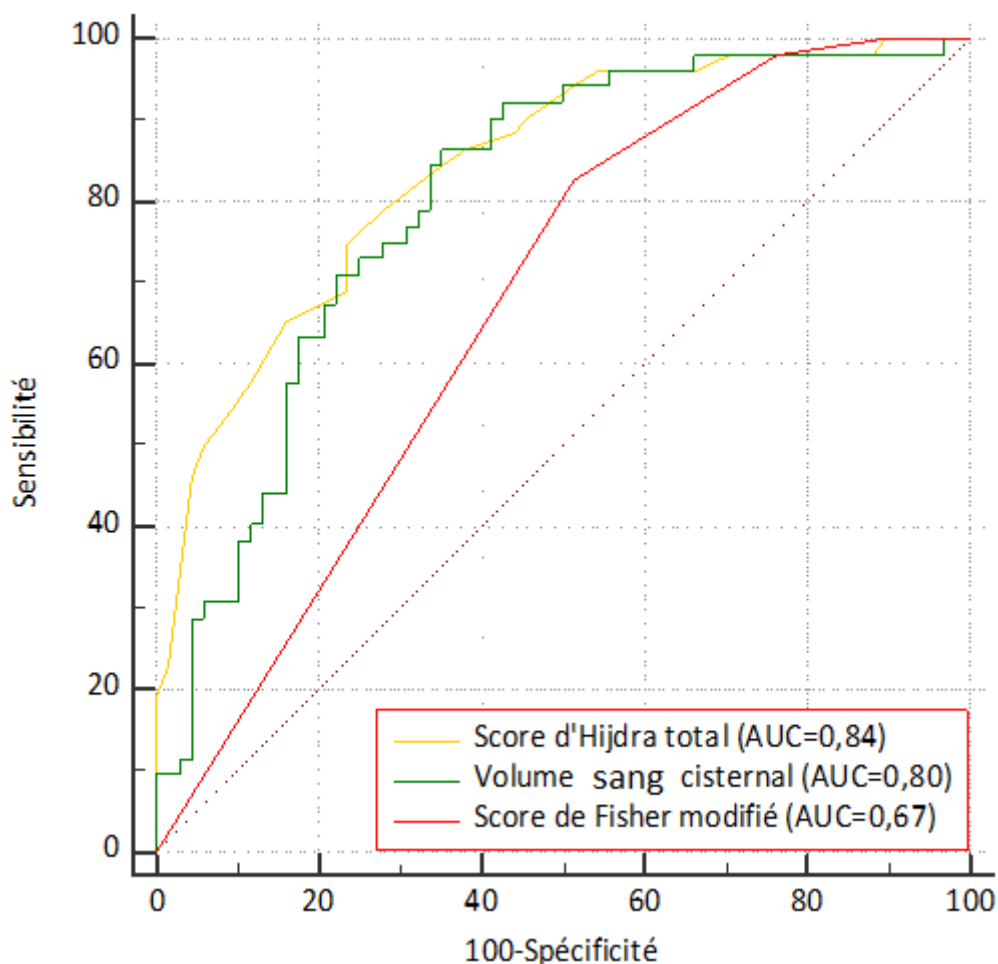


Figure 10. Comparaison des courbes ROC du score de Fisher, du score d'Hijdra et du volume de sang cisternal mesuré par notre algorithme pour la prédiction de l'ischémie cérébrale retardée

3.4. Analyse du risque d'hydrocéphalie aiguë

Dans notre cohorte, 70 patients (54%) ont nécessité la pose d'une DVE pour une HA. Les scores de Glasgow, WFNS et l'IGS2 à l'entrée étaient statistiquement plus élevés chez ces patients. Un haut volume d'anévrisme augmentait le risque d'hydrocéphalie. Les patients avec HA ne faisaient pas plus d'autres complications neurologiques. Le pronostic neurologique à 3 mois ainsi que la mortalité restaient identiques chez les patients atteints HA. Le tableau 4 ci-après rassemble les caractéristiques des patients en fonction du développement d'une HA.

Tableau 4. Données démographiques et caractéristiques cliniques des patients en fonction de la survenue ou non d'une hydrocéphalie aiguë

	Hydrocéphalie aiguë (HA)			P
	Total (n=145)	HA - (n=66)	HA+ (n=70)	
<i>Caractéristique démographique</i>				
Sexe masculin — n. (%)	61 (42)	24 (36)	37 (46)	0,20
Age	54 [46-64]	54 [47-63]	53 [44-64]	0,88
<i>Présentation clinique initiale</i>				
Glasgow	12 [7-14]	14 [8-15]	9 [6-14]	0,0016
IGS II	35 [24-49]	26 [19-45]	45 [31-52]	0,001
WFNS	4 [2-5]	2 [1-4]	4 [2-5]	0,0003
III-V — no. (%)	80 (55)	26 (39)	54 (68)	0,001
<i>Localisation de l'anévrisme-n (%)</i>				
Circulation antérieure	117 (80)	53 (80)	64 (81)	0,83
Circulation postérieure	39 (26)	15 (22)	24 (30)	0,27
Volume anévrisme (mL)	1 [0-2]	0,5 [0-2]	1 [0-2]	0,048
<i>Traitement — no. (%)</i>				
Embolisation	99 (68)	41 (62)	58 (73)	0,14
Chirurgie	32 (22)	16 (24)	16 (20)	0,56
<i>Complications — no. (%)</i>				
Hématome intracérébral	44(30)	20 (30)	24 (30)	1
Resaignement	10 (7)	3 (4)	7 (8)	0,29
OAP neurogénique	6 (4)	1 (1)	5 (6)	0,12
Vasospasme angiographique	48 (33)	17 (25)	31 (39)	0,08
Comitialité	7 (4)	1 (1)	6 (7)	0,07
<i>Evolution clinique</i>				
Évolution défavorable 3 mois	59 (40)	23 (34)	36 (45)	0,18
Mortalité hospitalière — no. (%)	35 (24)	16 (24)	19 (24)	0,97

En analyse univariée, les scores de Graeb, Leroux et IVH étaient fortement associés ($P < 0,0001$) au risque de développer une HA. Tous les volumes calculés par notre algorithme, et en particulier le volume du système ventriculaire (OR 1,06 ; IC95% 1,03-1,09 ; $P < 0,0001$) et le volume de sang intraventriculaire (OR 1,1 ; IC95% 1,0-1,2 ; $P < 0,0001$) étaient fortement associés au risque de développer une HA. Le volume médian du système ventriculaire était de 38 ml [28-52] dans le groupe développant un HA contre 20 ml [14-31] dans le groupe ne développant pas d'HA (Tableau 5).

Tableau 5. Relations entre scores radiologiques, volumes de sang et hydrocéphalie aiguë

	Hydrocéphalie aiguë (HA)			OR (IC95%)	P
	Total (n=145)	HA - (n=66)	HA + (n=79)		
<i>Scores radiologiques</i>					
Fischer (1-4)	4 [4-4]	4 [3-4]	4 [4-4]	5,3 (2- 13,8)	0,001
Fischer modifié (0-4)	4 [3-4]	4 [3-4]	4 [4-4]	2,1 (1,3- 3,4)	0,0005
Claassen (0-4)	3 [3-4]	3 [3-4]	4 [3-4]	1,8 (1,2- 2,8)	0,0012
BNI (1-5)	4 [4-5]	4 [3-5]	4 [4-5]	1,3 (0,9- 1,9)	0,08
Hijdra (0-42)	25 [16-30]	22 [11-26]	27 [19-31]	1,05 (1,01-1,09)	0,0019
Graeb (0-12)	2 [1-6]	1 [0-2]	4 [2-7]	1,3 (1,2-1,6)	<0,0001
Leroux (0-16)	3 [1-8]	2 [0-4]	6 [2-10]	1,2 (1,1-1,3)	<0,0001
IVH (0-23)	7 [1-11]	2 [0-7]	11 [6-14]	1,2 (1,1- 1,3)	<0,0001
<i>Analyses volumétriques (mL)</i>					
Sang total	22 [10-42]	16 [8-30]	31 [13-46]	1,02 (1,06-1,03)	0,0026
Sang supra-tentorial	17 [8-33]	14 [6-25]	23 [10-44]	1,02 (1,01-1,03)	0,0068
Sang intra parenchymateux	6 [2-18]	4 [1-8]	9 [3-18]	1,02 (1,01-1,05)	0,003
Sang cisternal	13 [8-22]	11 [4-20]	17 [9-24]	1,03 (1,01-1,07)	0,0423
Sang intra ventriculaire	0,6 [0,2-2,7]	0,5 [0-1]	1 [0-9]	1,1 (1,0-1,2)	<0,0001
Système ventriculaire	31 [18-44]	20 [14-31]	38 [28-52]	1,06 (1,03-1,09)	<0,0001

Afin d'évaluer la performance de notre algorithme de quantification du sang concernant la prédiction du risque d'HA nous l'avons comparé aux courbes ROC des scores radiologiques et cliniques (tableau 10 en annexe). Le score IVH avait la meilleure ROC_{AUC} (0,79; IC95% 0,72-0,85). Le volume du système ventriculaire était le volume calculé par notre algorithme qui possédait la meilleure ROC_{AUC} à 0,78 (IC95% 0,70-0,84), celle-ci n'était statistiquement pas différente de celle du score IVH ($P=0,58$). Le seuil idéal pour la prédiction de l'HA était un volume de système ventriculaire supérieur ou égal à 31 mL avec une sensibilité de 70% (IC95 59-80) et une spécificité de 75% (IC95 63-85). Les scores de Fisher modifié et d'Hijdra avaient respectivement des ROC_{AUC} à 0,65 (IC95% 0,56-0,73) et à 0,65 (IC95% 0,57-0,73). Leurs performances étaient inférieures aux ROC_{AUC} des scores IVH et du volume du système ventriculaire (Figure 11).

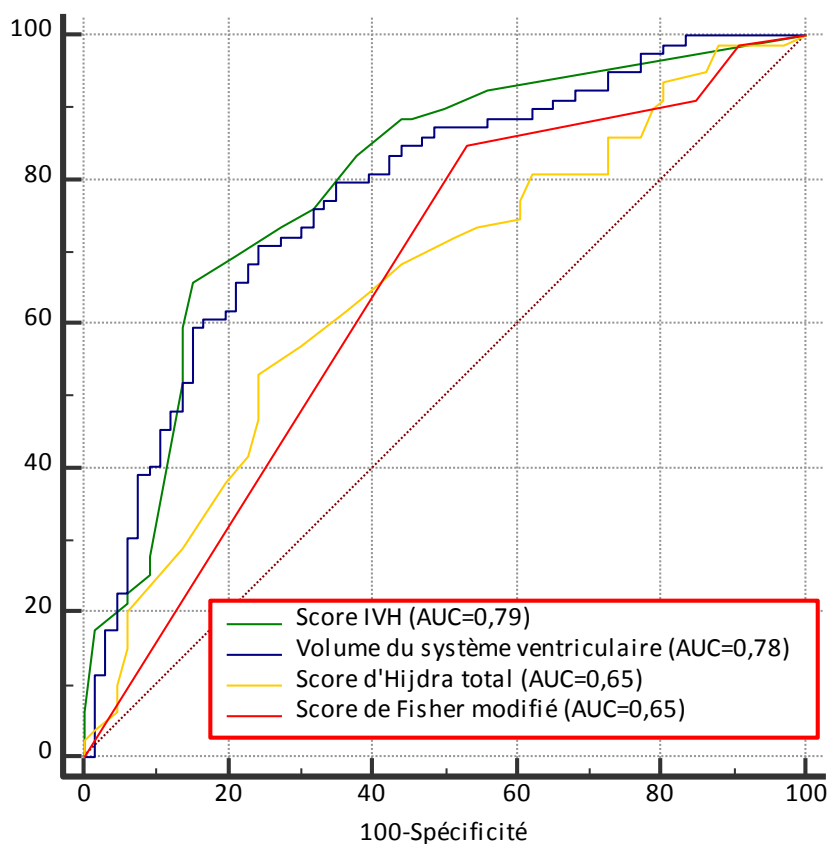


Figure 11. Comparaison des courbes ROC du score de Fisher, du score IVH, du score d'Hijdra et du volume du système ventriculaire mesuré par notre algorithme pour la prédiction de l'hydrocéphalie aiguë.

3.5. Analyse du pronostic neurologique à 3 mois

Dans notre cohorte, 59 patients (40,6%) avaient une mauvaise évolution neurologique (GOSE 1-4) à 3 mois, dont 59% de décès (GOSE 1) et 41% de séquelle neurologique grave (GOSE 2-4). Seize pour cent de notre cohorte présentait un handicap modéré ou léger (GOSE 5-7), et 43% n'avait aucune séquelle (GOSE 8). L'âge et le sexe étaient indépendants du risque de mauvaise évolution. Les caractéristiques cliniques à l'admission associées à une mauvaise évolution étaient : les scores de Glasgow, WFNS et IGS-2. De même, la taille de l'anévrisme était un facteur de mauvais pronostic. Comparé à la chirurgie traditionnelle, le traitement de l'anévrisme par embolisation radiologique, était un facteur de meilleur pronostic. Enfin, l'association d'un hématome intra parenchymateux cérébral ou d'un resaignement de l'hémorragie méningée aggravait le pronostic. Dans la population totale, une ICR n'était pas retrouvée comme facteur influençant la survenue d'une mauvaise évolution neurologique ($P=0,92$). Cependant, dans la sous population survivante après le 7^{ème} jour une ICR était un facteur de mauvais pronostic (OR: 3,01; IC95% 1,32-6,85; $P=0,0073$). Les caractéristiques des patients sont résumées dans le tableau 6 ci-après en fonction de leur évolution neurologique à 3 mois.

Tableau 6. Données démographiques et caractéristiques cliniques des patients en fonction du devenir neurologique à 3 mois

	Évolution neurologique à 3 mois			P
	Total (n= 145)	Bonne évolution GOSE 5-8 (n=86)	Mauvaise évolution GOSE 1-4 (n=59)	
<u>Caractéristique démographique</u>				
Sexe masculin — n (%)	61 (42)	32 (37)	29 (49)	0,15
Age — année	54 [46-64]	53 [46-62]	55 [44-65]	0,39
<u>Présentation clinique initiale</u>				
Glasgow	12 [7-14]	14 [10-15]	7 [4-11]	<0,0001
IGS II	35 [24-49]	26 [20-39]	48 [42-55]	<0,0001
WFNS	4 [2-5]	2 [1-4]	5 [4-5]	<0,0001
III-V — n (%)	80 (55)	30 (34)	50 (84)	<0,0001
<u>Caractéristique de l'anévrisme</u>				
Circulation antérieure — n (%)	117 (80)	67 (77)	50 (84)	0,3
Circulation postérieure — n (%)	39 (29)	25 (29)	14 (23)	0,44
Volume — (mL)	1 [0-3]	0,5 [0-1]	1 [0-3]	0,0091
<u>Traitement — n (%)</u>				
Embolisation	99 (68)	74 (86)	25 (42)	<0,0001
Chirurgie	32 (22)	12(13)	20 (33)	0,025
<u>Complications — n (%)</u>				
Ischémie cérébrale retardée	51 (35)	30 (34)	21 (35)	0,92
Hydrocéphalie aiguë + DVE	79 (18)	43 (50)	36 (61)	0,019
Hématome intracérébral	44 (30)	17(19)	27 (45)	0,0009
Resaignement	10 (7)	4 (4)	8 (12)	0,20
OAP neurogénique	6 (3)	4 (4)	6 (10)	0,70
Vasospasme angiographique	48 (33)	28 (32)	20 (34)	0,86
Comitialité	7 (4)	6 (6)	1(1)	0,11
<u>Evolution clinique— n (%)</u>				
Mortalité hospitalière	36 (22)	0 (0)	35 (59)	<0,0001

En analyse univariée, il existait un lien statistique entre tous les scores radiologiques testés et l'évolution neurologique. Le score d'Hijdra était le score radiologique le plus fortement lié au risque de mauvais pronostic (OR: 1,09 IC95% 1,05-1,14 ; $p < 0,0001$). L'IGS-2 était le score prédictif le plus fortement lié au mauvais devenir neurologique (OR : 1,09 ; IC95% 1,05-1,12 ; $p < 0,0001$). Les volumes de sang total, sus tentorial, intra parenchymateux et cisternal mesurés par notre algorithme étaient eux aussi corrélés statistiquement ($p < 0,0001$). (Tableau 7)

Tableau 7. Relations entre scores radiologiques, volumes de sang et le devenir neurologique à 3 mois

	Evolution neurologique à 3 mois				P
	Total n= 145	Bonne GOSE 5-8 (n=86)	Mauvaise GOSE 1-4 (n=59)	OR (IC95%)	
<i>Scores radiologiques</i>					
Fischer (1-4)	4 [4-4]	4 [3-4]	4 [4-4]	3,8 (1,4 – 10,7)	0,0013
Fischer modifié (0-4)	4 [3-4]	4 [3-4]	4 [4-4]	3,0 (1,6-5,9)	0,0001
Claassen (0-4)	3 [3-4]	3 [3-4]	4 [3-4]	2,9 (1,7-5,1)	<0,0001
BNI (1-5)	4 [4-5]	4 [3-5]	5 [4-5]	3,0 (1,8-5,0)	0,0001
Hijdra (0-42)	25 [16-30]	21 [10-27]	29 [24-31]	1,09 (1,05-1,14)	<0,0001
Graeb (0-12)	2 [1-6]	2 [0-4]	4 [2-7]	1,1 (1,0-1,3)	0,0003
Leroux (0-16)	3 [1-8]	2 [0-4]	6 [2-10]	1,1 (1,0-1,2)	0,0003
IVH (0-23)	7 [1-11]	5 [0-11]	9 [2-16]	1,08 (1,02-1,10)	0,002
<i>Analyses volumétriques (mL)</i>					
Sang total	22 [10-42]	15 [7-31]	34 [19-59]	1,04 (1,02-1,05)	<0,0001
Sang supra-tentorial	17 [8-33]	11 [5-22]	29 [15-54]	1,04 (1,02-1,06)	<0,0001
Sang intra parenchymateux	6 [2-18]	3 [1-10]	13 [5-39]	1,04 (1,02-1,07)	<0,0001
Sang cisternal	13 [8-22]	10 [4-18]	19 [10-25]	1,08 (1,04-1,1)	<0,0001
Système ventriculaire	31 [18-44]	34 [20-48]	28 [16-37]	1,0 (0,9-1,1)	0,13
Sang intra ventriculaire	0,6 [0,2-2,7]	0,4 [0,2-1,0]	1,0 [0,3-9,0]	1,06 (1,02-1,1)	0,001

Afin d'évaluer la performance de notre algorithme concernant la prédiction de la mauvaise évolution neurologique nous l'avons comparé aux courbes ROC des scores radiologiques et cliniques (tableau 11 en annexe). Les scores IGS-2 et WFNS possédaient les meilleures ROC_{AUC} (respectivement 0,80 (IC95% 0,73-0,86) et 0,80 (IC95% 0,72-0,86)). Parmi les volumes étudiés, les volumes de sang total, supra tentoriel et intra parenchymateux avaient les meilleures ROC_{AUC} (0,74, IC95% 0,66-0,84) identiques avec un rapport des intervalles de confiance non différent ($P=0,14$) du score IGS-2. Les seuils idéaux étaient un volume total supérieur à 26 mL, un volume supra tentoriel supérieur à 22 mL et un volume intra parenchymateux supérieur à 7 mL pour prédire la mauvaise évolution neurologique. Le score d'Hijdra possédait une ROC_{AUC} à 0,72 (IC95% 0,64-0,79), qui n'était statistiquement pas différente de celle du score IGS-2 et du volume ventriculaire. Le score de Fisher modifié quant à lui était statistiquement inférieur avec une ROC_{AUC} à 0,62 (IC95% 0,54-0,70). (Figure 12)

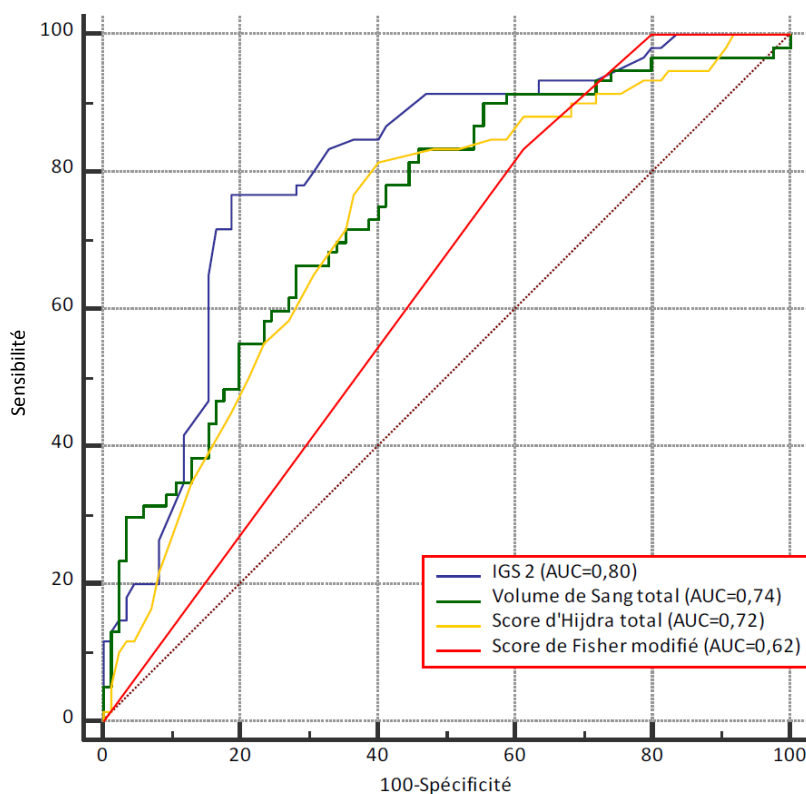


Figure 12. Comparaison des courbes ROC pour les scores de Fisher, d'Hijdra, de l'IGS-2 et du volume de sang total mesuré par notre algorithme pour la prédiction du devenir neurologique à 3 mois

4. DISCUSSION

Dans cette étude nous avons évalué les performances d'un algorithme automatique de détection et de quantification du sang lors d'une HSA. Cet algorithme a été comparé aux performances des différentes échelles cliniques et radiologiques existantes. L'objectif a consisté à évaluer ce nouvel outil dans la prédiction de survenue d'une ICR, d'une HA et d'une mauvaise évolution neurologique à 3 mois. Notre algorithme qui ne nécessite aucune intervention manuelle s'est montré aussi performant que le meilleur des scores pronostics pour prédire la survenue d'une ICR (score d'Hijdra) et d'une HA (score IVH), et une mauvaise évolution neurologique (score WFNS et IGS-2).

Dans la littérature, de nombreuses études ont fait le lien entre le volume de sang cisternal et la survenue d'une ICR (7,9,10,14,16,18,21). Il semblait donc pertinent de trouver une méthode fiable de calcul du volume des HSA(33). Le volume de sang cisternal médian que nous avons retrouvé était de 13 ml. Ce résultat est proche de celui préalablement retrouvé par Ko et coll.(22), sur une cohorte de 160 patients. Leur volume de sang cisternal et intraventriculaire médian, calculés avec une méthode semi-automatique, était de 16,5 mL. Nos résultats sont cependant plus éloignés que ceux retrouvés par Van der Steen et coll.(23). En effet, dans cette cohorte de 258 patients, le volume de sang cisternal médian mesuré était de 29,8 mL. La gravité du tableau initiale ne peut seule expliquer cet écart. Dans notre cohorte la proportion de patients avec un score WFNS ≥ 3 était comparable à la leur (52% vs 53%). Une plus grande sensibilité de leur méthode de détection semble être plus probable. En effet, aucune étude dans la littérature ne retrouve un volume médian de sang cisternal aussi élevé. Le volume médian de sang s'étend généralement entre 10 mL (sang cisternal)(35,36) et 20 mL (sang total)(20,21,37,38) dans les études ayant manuellement contouré le caillot au scanner. Dans notre cohorte, le volume cisternal automatiquement mesuré par notre algorithme était

particulièrement corrélé avec le score radiologique d'Hijdra ($R^2 = 0,79$) et avait la même pertinence pronostique que ce dernier pour prédire la survenue d'une ICR.

Nous avons mis en évidence une association entre la quantité de sang mesurée au niveau sus-tentorial, plus particulièrement au niveau cisternal, et la survenue d'une ICR. Le lien entre la quantité de sang et le développement d'une ICR a déjà été mis en avant par plusieurs études (22,23,29,39). Toutefois, la physiopathologie de l'ICR reste complexe et multifactorielle. Un des mécanismes physiopathologiques a pour origine la libération par le caillot sanguin de substances vasoactives directement au contact des artères corticales entraînant un vasospasme (5). D'ailleurs, dans notre étude le volume de sang au niveau cisternal, siège des vaisseaux corticaux, qu'il soit calculé avec le score d'Hijdra ou mesuré avec notre algorithme, était le plus spécifique pour prédire la survenue d'un vasospasme angiographique et d'une ICR. Il est intéressant de noter que dans notre étude la quantité de sang intraventriculaire n'était ni un facteur de risque de survenue d'une ICR, ni d'un vasospasme. Pourtant, dans la littérature, le lien entre le volume de sang intra ventriculaire et la survenue d'une ICR reste débattu. Hijdra et coll. ont mis en évidence l'existence d'une association entre le volume de sang intraventriculaire et l'apparition d'une ICR. Ko et coll.(22) et Zijlstra et coll.(40) retrouvent également une association significative entre le volume médian de sang intraventriculaire et la survenue d'une ICR. Cependant, Van der Steen et coll.(23), sur une cohorte de 282 patients, et Kramer et coll.(41) sur 152 patients tous victimes d'une HSA, ne trouvaient pas de lien entre le volume d'HIV et la survenue d'une ICR. Il est donc difficile de conclure sur l'effet propre du volume de l'HIV sur la survenue d'une ICR. On peut toutefois faire l'hypothèse que si le système ventriculaire ne participe pas directement à la genèse du vasospasme et de l'ICR, il est le témoin d'une HSA grave, à risque de complication et de mauvaise évolution neurologique.

Notre étude montre que le volume de sang cisternal mesuré par notre algorithme est comparable en termes de performances de prédiction de la survenue d'une ICR au meilleur des scores radiologiques, le score d'Hijdra. Cependant, ce score semi-quantitatif est peu utilisé en pratique courante car relativement complexe et chronophage. Malgré des performances inférieures les autres scores radiologiques, de par leur simplicité de calcul, sont plus largement utilisés. Cependant, ils restent tous très nettement inférieurs en terme de performance par rapport au score d'Hijdra (18). Notre analyse entièrement automatisée présente l'avantage de ne durer que 5 minutes par examen et ne nécessite aucune intervention humaine.

Dans notre étude nous avons observé une forte incidence de l'HA. En effet dans notre cohorte, 54% des patients ont eu une pose de DVE. Dans la littérature l'incidence de d'HA après HSA varie entre 20% et 80% selon les études (42–46). L'incidence élevé d'HA dans notre cohorte peut être expliquée par la forte proportion de patients ayant un score de gravité élevé (55% grade WFNS >2). Une des explications serait que les critères diagnostiques d'HA diffèrent entre les études. Dans notre service, la pose d'une dérivation ventriculaire externe est le résultat de l'expertise des médecins réanimateurs et neurochirurgiens, basée sur la gravité du tableau clinique et radiologique, selon les recommandations. Cet acte invasif n'est pas dénué de morbidité. On estime qu'environ 1,4 à 9,2% des DVE se compliquent d'une ventriculite (47). Il est donc important d'avoir un outil pronostic performant afin d'aider à la décision de pose d'une DVE. La présence d'une HIV était un facteur de risque connue d' HA (48) Dans notre étude, le volume d'HIV automatiquement mesuré était associé au risque de développer une HA. L'HA est dans ce contexte suspectée d'être liée en partie à l'obstruction des voies d'écoulement du LCR par l'HIV. Une autre conséquence connue de la présence d'HIV est le développement de trouble de la résorption du LCR favorisant l'HA (48). La quantification du volume de l'HIV par notre algorithme possède une bonne corrélation avec l'appréciation semi-

quantitative du volume de l'HIV déterminée par le score IVH. Lors d'une hydrocéphalie aigue le volume du système ventriculaire augmente. Dupont et coll.(49) a montré que l'index bicaudé est un bon marqueur d'HA après HSA anévrismale. L'index bicaudé est le rapport de la distance entre les ventricules latéraux et le diamètre du cerveau au niveau des noyaux caudés. Dans notre étude le volume du système ventriculaire était associé au risque de développer une HA. Dans la prédiction de l'HA, le score IVH était le score le plus performant (19). Le volume du système ventriculaire calculé par notre algorithme avait une ROC_{AUC} comparable au score IVH (ROC_{AUC} 0,78 vs 0,79). Tous deux avaient une valeur prédictive très supérieure au score d'Hijdra et de Fisher modifié dans la prédiction de l'HA.

Prédire le pronostic neurologique est également un enjeu important dans la prise en charge des patients atteints d'HSA. L'évolution de notre cohorte en termes de gravité est comparable à celle publiée dans la littérature (1,2). A trois mois, notre mortalité était de 22% et le taux de séquelles neurologiques graves (GOSE 2 à 4) de 19%. Czorlich (50) sur une cohorte de 263 HSA retrouvent que l'IGS2 était le meilleur indicateur de la mortalité intra hospitalière. Dans une revue de la littérature de 2013, Jaja *et coll.*(51) retrouvaient que le score WFNS était un des principaux indicateurs de mortalité et de séquelle neurologique. Dans notre cohorte, les volumes de sang total, supra tentoriel et intra parenchymateux apparaissaient comme des bons marqueurs prédictifs du risque de mauvaise évolution neurologique. L'association entre volume de sang et la mortalité à J30 avait déjà été montré par Broderick (20). Les volumes de sang total et supra tentoriel étaient intéressants car ils intégraient l'importance de l'hématome initial mais également le risque de développer une ICR ou une HA. Ils possédaient en outre une performance non significativement différente du score d'Hijdra ou de l'IGS2.

Notre étude a plusieurs limitations. Un des principaux écueils réside dans le nombre de patients exclus de l'analyse pour absence ou défaut du TDM initial (112 examens). Les

imageries initiales peuvent être réalisées dans un l'hôpital différent de notre centre. Dans ce contexte, il arrive que le premier examen soit perdu ou incomplet lors du transfert ou de la prise en charge initiale. D'autre part, certains examens jugés non interprétables pour cause d'artefact de renforcement postérieur ont été exclus de l'analyse. L'effet de renforcement postérieur lié à la contamination de l'os sur les structures adjacentes rehausse la densité du parenchyme sous-jacent et entraîne un phénomène de sur détection (29). Cet artefact peut être relativement important en proportion dans les HSA de bas volume et de faible densité(40). Nos résultats sont comparables à ceux publiés dans la littérature et corrélés aux scores radiologiques les plus pertinents. Toutefois, en l'absence de référence, on ne peut prouver l'exactitude des mesures volumétriques réalisées par notre algorithme. Avec l'aide d'un radiologue indépendant, nous envisageons de réaliser une seconde mesure comparative par une méthode de contourage manuel de l'HSA chez un échantillon de patient de cette cohorte. La mise en perspective des résultats de cette seconde mesure pourra nous aider à affiner le seuil de détection du sang et à améliorer la précision de la segmentation.

5. CONCLUSION

Nous avons réalisé une étude observationnelle rétrospective monocentrique sur une cohorte de 145 patients atteints d'HSA anévrismale. Nous avons développé un algorithme automatique de quantification et de segmentation du volume de l'HSA basé sur la densité du caillot sanguin en TDM. L'objectif était de comparer les performances de cet outil aux échelles radiologiques de référence en terme prédiction de survenue d'une ICR, d'une HA et d'une mauvaise évolution neurologique.

Les volumes générés par notre algorithme automatique sont comparables à ceux retrouvés dans la littérature par des méthodes de contourage manuel. Les résultats obtenus ont montré des capacités identiques de l'algorithme face aux meilleurs des scores pour prédire les complications et l'évolution neurologique à trois mois. Le volume de sang cisternal mesuré a des capacités identiques au score d'Hijdra pour le pronostic d'une ICR. Le volume du système ventriculaire a des performances similaires au score IVH pour le pronostic de l'HA. Les volumes de sang total ou supra tentoriel ont une capacité de pronostic équivalente au score clinique IGS-2 pour prédire la mauvaise évolution neurologique. L'avantage de notre méthode automatisée réside dans sa capacité à prédire les complications et l'évolution en une seule analyse. C'est un outil fiable et rapide utilisable en pratique courante. Il nous semble important de valider ultérieurement les mesures obtenues par notre algorithme par une méthode de mesure manuelle, puis par une étude prospective.

REFERENCES

1. de Rooij NK, Linn FHH, van der Plas JA, Algra A, Rinkel GJE. Incidence of subarachnoid haemorrhage: a systematic review with emphasis on region, age, gender and time trends. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1 déc 2007;78(12):1365-72.
2. Etminan N, Chang H-S, Hackenberg K, de Rooij NK, Vergouwen MDI, Rinkel GJE, et al. Worldwide Incidence of Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage According to Region, Time Period, Blood Pressure, and Smoking Prevalence in the Population: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Neurol*. 1 mai 2019;76(5):588.
3. Brisman JL, Song JK, Newell DW. Cerebral Aneurysms. *N Engl J Med*. 31 août 2006;355(9):928-39.
4. Dreier JP, Woitzik J, Fabricius M, Bhatia R, Major S, Drenckhahn C, et al. Delayed ischaemic neurological deficits after subarachnoid haemorrhage are associated with clusters of spreading depolarizations. *Brain*. 25 oct 2006;129(12):3224-37.
5. Pluta RM, Hansen-Schwartz J, Dreier J, Vajkoczy P, Macdonald RL, Nishizawa S, et al. Cerebral vasospasm following subarachnoid hemorrhage: time for a new world of thought. *Neurol Res*. 1 mars 2009;31(2):151-8.
6. Crobeddu E, Mittal MK, Dupont S, Wijdicks EFM, Lanzino G, Rabinstein AA. Predicting the Lack of Development of Delayed Cerebral Ischemia After Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage. *Stroke*. mars 2012;43(3):697-701.
7. Fisher CM, Kistler JP, Davis JM. Relation of Cerebral Vasospasm to Subarachnoid Hemorrhage Visualized by Computerized Tomographic Scanning. *Neurosurgery*. 1 janv 1980;6(1):1-9.
8. Svensson E, Starmark J-E, Ekholm S, Essen C von, Johansson A. Analysis of interobserver disagreement in the assessment of subarachnoid blood and acute hydrocephalus on CT scans. *Neurol Res*. 1 déc 1996;18(6):487-94.
9. Frontera JA, Claassen J, Schmidt JM, Wartenberg KE, Temes R, Connolly ES, et al. Prediction of Symptomatic Vasospasm after Subarachnoid Hemorrhage: The Modified Fisher Scale. *Neurosurgery*. 1 juill 2006;59(1):21-7.
10. Claassen J, Bernardini GL, Kreiter K, Bates J, Du YE, Copeland D, et al. Effect of Cisternal and Ventricular Blood on Risk of Delayed Cerebral Ischemia After Subarachnoid Hemorrhage: The Fisher Scale Revisited. *Stroke*. sept 2001;32(9):2012-20.
11. Kramer AH, Hehir M, Nathan B, Gress D, Dumont AS, Kassell NF, et al. A comparison of 3 radiographic scales for the prediction of delayed ischemia and prognosis following subarachnoid hemorrhage. *J Neurosurg*. août 2008;109(2):199-207.

12. Jiménez-Roldán L, Alén JF, Gómez PA, Lobato RD, Ramos A, Munarriz PM, et al. Volumetric analysis of subarachnoid hemorrhage: assessment of the reliability of two computerized methods and their comparison with other radiographic scales. *J Neurosurg.* janv 2013;118(1):84-93.
13. Norden AGW, Dijk GW, Huizen MD, Algra A, Rinkel GJE. Interobserver agreement and predictive value for outcome of two rating scales for the amount of extravasated blood after aneurysmal subarachnoid haemorrhage. *J Neurol.* sept 2006;253(9):1217-20.
14. Hijdra A, van Gijn J, Nagelkerke NJ, Vermeulen M, van Crevel H. Prediction of delayed cerebral ischemia, rebleeding, and outcome after aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *Stroke.* oct 1988;19(10):1250-6.
15. Hijdra A, Brouwers PJ, Vermeulen M, van Gijn J. Grading the amount of blood on computed tomograms after subarachnoid hemorrhage. *Stroke.* août 1990;21(8):1156-61.
16. Dupont SA, Wijdicks EFM, Manno EM, Lanzino G, Rabinstein AA. Prediction of Angiographic Vasospasm After Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage: Value of the Hijdra Sum Scoring System. *Neurocrit Care.* oct 2009;11(2):172-6.
17. Bretz JS, Von Dincklage F, Woitzik J, Winkler MKL, Major S, Dreier JP, et al. The Hijdra scale has significant prognostic value for the functional outcome of Fisher grade 3 patients with subarachnoid hemorrhage. *Clin Neuroradiol.* sept 2017;27(3):361-9.
18. van der Steen WE, Leemans EL, van den Berg R, Roos YBWEM, Marquering HA, Verbaan D, et al. Radiological scales predicting delayed cerebral ischemia in subarachnoid hemorrhage: systematic review and meta-analysis. *Neuroradiology.* mars 2019;61(3):247-56.
19. Halleivi H, Dar NS, Barreto AD, Morales MM, Martin-Schild S, Abraham AT, et al. The IVH Score: A novel tool for estimating intraventricular hemorrhage volume: Clinical and research implications*: *Crit Care Med.* mars 2009;37(3):969-e1.
20. Broderick JP, Brott TG, Duldner JE, Tomsick T, Huster G. Volume of intracerebral hemorrhage. A powerful and easy-to-use predictor of 30-day mortality. *Stroke.* juill 1993;24(7):987-93.
21. Friedman JA, Piegras DG, Iii LGT, Nichols DA, Wijdicks EFM. Volumetric quantification of Fisher Grade 3 aneurysmal subarachnoid hemorrhage: a novel method to predict symptomatic vasospasm on admission computerized tomography scans. *J Neurosurg.* 2002;97:7.
22. Ko S-B, Choi HA, Carpenter AM, Helbok R, Schmidt JM, Badjatia N, et al. Quantitative Analysis of Hemorrhage Volume for Predicting Delayed Cerebral Ischemia After Subarachnoid Hemorrhage. :6.
23. van der Steen WE, Zijlstra IA, Verbaan D, Boers AMM, Gathier CS, van den Berg R, et al. Association of Quantified Location-Specific Blood Volumes with Delayed Cerebral

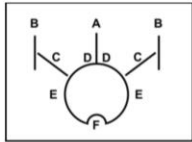
- Ischemia after Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage. *Am J Neuroradiol.* juin 2018;39(6):1059-64.
24. Steiner T, Juvela S, Unterberg A, Jung C, Forsting M, Rinkel G. European Stroke Organization Guidelines for the Management of Intracranial Aneurysms and Subarachnoid Haemorrhage. *Cerebrovasc Dis.* 2013;35(2):93-112.
 25. Carrera E, Schmidt JM, Oddo M, Ostapkovich N, Claassen J, Rincon F, et al. Transcranial Doppler Ultrasound in the Acute Phase of Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage. *Cerebrovasc Dis.* 2009;27(6):579-84.
 26. Dengler NF, Diesing D, Sarrafzadeh A, Wolf S, Vajkoczy P. The Barrow Neurological Institute Scale Revisited: Predictive Capabilities for Cerebral Infarction and Clinical Outcome in Patients With Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage. *Neurosurgery.* août 2017;81(2):341-9.
 27. Morgan Timothy C., Dawson Jesse, Spengler Danielle, Lees Kennedy R., Aldrich Chanel, Mishra Nishant K., et al. The Modified Graeb Score. *Stroke.* 1 mars 2013;44(3):635-41.
 28. LeRoux PD, Haglund MM, Newell DW, Grady MS, Winn HR. Intraventricular Hemorrhage in Blunt Head Trauma: An Analysis of 43 Cases. *Neurosurgery.* 1 oct 1992;31(4):678-85.
 29. Boers AM, Zijlstra IA, Gathier CS, van den Berg R, Slump CH, Marquering HA, et al. Automatic Quantification of Subarachnoid Hemorrhage on Noncontrast CT. *Am J Neuroradiol.* déc 2014;35(12):2279-86.
 30. Teasdale G, Jennett B. ASSESSMENT OF COMA AND IMPAIRED CONSCIOUSNESS: A Practical Scale. *The Lancet.* 13 juill 1974;304(7872):81-4.
 31. Report of World Federation of Neurological Surgeons Committee on a Universal Subarachnoid Hemorrhage Grading Scale. *J Neurosurg [Internet].* 1988;68(6). Disponible sur: <https://thejns.org/view/journals/j-neurosurg/68/6/article-jns.1988.68.6.0985.xml.xml>
 32. Vergouwen MDI, Vermeulen M, van Gijn J, Rinkel GJE, Wijdicks EF, Muizelaar JP, et al. Definition of Delayed Cerebral Ischemia After Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage as an Outcome Event in Clinical Trials and Observational Studies: Proposal of a Multidisciplinary Research Group. *Stroke.* oct 2010;41(10):2391-5.
 33. Jennett B, Snoek J, Bond MR, Brooks N. Disability after severe head injury: observations on the use of the Glasgow Outcome Scale. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* avr 1981;44(4):285-93.
 34. WILSON JTL, PETTIGREW LEL, TEASDALE GM. Structured Interviews for the Glasgow Outcome Scale and the Extended Glasgow Outcome Scale: Guidelines for Their Use. *J Neurotrauma.* 1 août 1998;15(8):573-85.

35. Rosen DS, Macdonald RL, Huo D, Goldenberg FD, Novakovic RL, Frank JI, et al. Intraventricular hemorrhage from ruptured aneurysm: clinical characteristics, complications, and outcomes in a large, prospective, multicenter study population. *J Neurosurg.* août 2007;107(2):261-5.
36. Christopher Reilly, Chris Amidei, Jocelyn Tolentino, Babak S. Jahromi, R. Loch Macdonald. Clot volume and clearance rate as independent predictors of vasospasm after aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *J Neurosurg.* 2004;101(2):255-61.
37. Lagares A, Jiménez-Roldán L, Gomez PA, Munarriz PM, Castaño-León AM, Cepeda S, et al. Prognostic Value of the Amount of Bleeding After Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage: A Quantitative Volumetric Study. *Neurosurgery.* 4 août 2015;77(6):898-907.
38. Whitmore RG, Grant RA, LeRoux P, El-Falaki O, Stein SC. How Large Is the Typical Subarachnoid Hemorrhage? A Review of Current Neurosurgical Knowledge. *World Neurosurg.* 1 mai 2012;77(5):686-97.
39. Wilson DA, Nakaji P, Abila AA, Uschold TD, Fusco DJ, Oppenlander ME, et al. A Simple and Quantitative Method to Predict Symptomatic Vasospasm After Subarachnoid Hemorrhage Based on Computed Tomography: Beyond the Fisher Scale. *Neurosurgery.* oct 2012;71(4):869-76.
40. Zijlstra IA, Gathier CS, Boers AM, Marquering HA, Slooter AJ, Velthuis BK, et al. Association of Automatically Quantified Total Blood Volume after Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage with Delayed Cerebral Ischemia. *Am J Neuroradiol.* sept 2016;37(9):1588-93.
41. Kramer AH, Mikolaenko I, Deis N, Dumont AS, Kassell NF, Bleck TP, et al. Intraventricular Hemorrhage Volume Predicts Poor Outcomes But Not Delayed Ischemic Neurological Deficits Among Patients With Ruptured Cerebral Aneurysms. *Neurosurgery.* 1 oct 2010;67(4):1044-53.
42. Czorlich P, Ricklefs F, Reitz M, Vettorazzi E, Abboud T, Regelsberger J, et al. Impact of intraventricular hemorrhage measured by Graeb and LeRoux score on case fatality risk and chronic hydrocephalus in aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *Acta Neurochir (Wien).* mars 2015;157(3):409-15.
43. Kang P, Raya A, Zipfel GJ, Dhar R. Factors Associated with Acute and Chronic Hydrocephalus in Nonaneurysmal Subarachnoid Hemorrhage. *Neurocrit Care.* févr 2016;24(1):104-9.
44. Sheehan JP, Polin RS, Sheehan JM, Baskaya MK, Kassell NF. Factors Associated with Hydrocephalus after Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage. *Neurosurgery.* nov 1999;45(5):1120-8.

-
45. Yu H, Zhan R, Wen L, Shen J, Fan Z. The Relationship Between Risk Factors and Prognostic Factors in Patients With Shunt-Dependent Hydrocephalus After Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage: *J Craniofac Surg*. mai 2014;25(3):902-6.
 46. Brisman JL, Song JK, Newell DW. Cerebral Aneurysms. *N Engl J Med*. 31 août 2006;355(9):928-39.
 47. Champey J, Mourey C, Francony G, Pavese P, Gay E, Gergele L, et al. Strategies to reduce external ventricular drain–related infections: a multicenter retrospective study. *J Neurosurg JNS* [Internet]. 2018;130(6). Disponible sur: <https://thejns.org/view/journals/j-neurosurg/130/6/article-p2034.xml>
 48. Germanwala AV, Huang J, Tamargo RJ. Hydrocephalus After Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage. *Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage*. 1 avr 2010;21(2):263-70.
 49. Dupont S, Rabinstein AA. CT evaluation of lateral ventricular dilatation after subarachnoid hemorrhage: baseline bicaudate index values. *Neurol Res*. mars 2013;35(2):103-6.
 50. Czorlich P, Sauvigny T, Ricklefs F, Kluge S, Vettorazzi E, Regelsberger J, et al. The simplified acute physiology score II to predict hospital mortality in aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *Acta Neurochir (Wien)*. déc 2015;157(12):2051-9.
 51. Jaja BNR, Cusimano MD, Etminan N, Hanggi D, Hasan D, Ilodigwe D, et al. Clinical Prediction Models for Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage: A Systematic Review. *Neurocrit Care*. févr 2013;18(1):143-53.
-

ANNEXES

Tableau 8. Systèmes de classement radiologique des hémorragies méningées

Score	Fisher (1-4)	Fisher modifié (0-4)	Claassen (0-4)	BNI † (1-5)	Hijdra (0-42)	
					Compartment sous-arachnoïdien † (pour chaque citerne ou fissure)	Compartment ventriculaire ‡ (pour chaque ventricule)
0	-	Pas de sang	Pas de sang	-	Pas de sang	Pas de sang
1	Pas de sang	HSA fine, pas d'HIV	HSA fine, pas d'HIV bilatérale	Pas de sang	Traces de sang	Traces de sang
2	HSA <1mm	HSA fine + HIV	HSA fine + HIV bilatérale	≤5mm	Moyennement rempli de sang	Moyennement rempli de sang
3	HSA >1mm	HSA épaisse Pas d' HIV	HSA épaisse, pas d'HIV bilatérale	>5mm et ≤10mm	Complètement rempli de sang	Complètement rempli de sang
4	HAS + HIV	HAS épaisse + HIV	HSA épaisse + HIV bilatérale	>10mm et ≤15mm	-	-
5	-	- † Définitions de fine et épaisse non spécifiées	- † Définition d'épaisse est ≥5mm ou remplissant complètement une citerne.	>15mm † Epaisseur maximale de sang mesurée perpendiculairement à une citerne ou fissure	- † Dix citernes/fissures analysées : inter-hémisphérique (A), sylviennes latérales (B), sylviennes médiales (C), supra-sellaires (D), ambiantes (E), et quadrigéminales (F). Le total de sang dans les espaces sous-arachnoïdiens est côté de 0 à 30. ‡ Les 4 ventricules sont évalués. Le total de sang est ventriculaire est côté de à 30.	
Score	Graeb (0-12)		LeRoux (0-16)	IVH score † (0-23)		
	Pour chaque ventricule latéral	Pour les 3ème et 4ème ventricules	Pour chaque ventricule	Pour chaque ventricule latéral	Pour les 3ème et 4ème ventricules	Hydrocéphalie
0	Pas de sang	Pas de sang	Pas de sang	Pas de sang ou sédimentation postérieure	Pas de sang	Absente
1	Traces de sang	Sang présent, taille normale	Traces de sang	Jusqu'à 1/3 de sang	Présence de sang	Présente
2	< 50% rempli	Complètement rempli et dilaté	< 50% rempli	Jusqu'à 2/3 de sang	-	-
3	> 50% rempli	-	> 50% rempli	Quasi-totalement ou totalement rempli	-	-
4	Complètement rempli et dilaté	-	Complètement rempli et dilaté	-	-	-

Algorithme python : Étapes de post traitement des scanners par l'algorithme python pour l'extraction et le calcul des volumes d'intérêt :

1/ Transformation d'une séquence d'images 2D en une image 3D,

2/ Co-registrations rigide (non linéaire) : recalage de l'examen dans un espace d'étude,

3/ Soustraction des volumes osseux et du scalp, et extraction du parenchyme cérébral,

4/ Denoising : Débruitage de l'image,

5 / Extraction de l'hématome selon une fenêtre de densité Hounsfield,

6/ Co-registrations linéaires : recalage des calques pré-déterminés dans un atlas universel

(calque parenchyme total / sus-tentorial / cisternal / intra-parenchymateux / intraventriculaire) sur l'examen,

7/ Segmentation des volumes de sang d'intérêt à partir de calques anatomiques,

8/ Mesure des volumes générés des différentes régions d'intérêt.

Sore de Glasgow 3-15

	Réponse oculaire	Réponse verbale	Réponse motrice
1	nulle	nulle	nulle
2	douleur	incompréhensible	extension
3	appel	inapproprié	flexion
4	spontanée	confuse	évitement
5		normale	orientée
6			à l'ordre

Score WFNS

Grade	Glasgow	Déficit moteur
I	15	absent
II	13-14	absent
III	13-4	présent
IV	7-12	Absent ou présent
V	3-6	Absent ou présent

Glasgow Outcome Score—Extended (GOSE)

Score		
1	Mort	
2	État végétatif	Le patient ne présente aucune fonction corticale évidente.
3	Handicap grave inférieur	Capacité à suivre les ordres, a besoin d'aide pour toutes les activités, ne peut pas vivre seul.
4	Handicap grave supérieur	Capacité à suivre les ordres, a besoin d'aide pour la plupart des activités ; incapable de vivre seul.
5	Handicap modéré inférieur	Capacité à vivre de façon autonome, a besoin d'aide, incapable de retourner au travail ou aux études.
6	Handicap modéré supérieur	Capacité à vivre de façon autonome, nécessite peu d'aide, incapacité de retourner au travail ou aux études
7	Handicap léger	Capacité à retourner au travail ou à l'école avec une légère difficulté
8	Bon rétablissement	Capacité à reprendre ses activités normales

Tableau 9. Aires sous la courbe, valeurs seuils, sensibilités et spécificités des différents scores cliniques et radiologiques ainsi que les analyses volumétriques de notre algorithme pour la prédiction d'une ICR.

	ROCAUC (IC95%)	Seuil Optimal	Sensibilité	Spécificité
Ischémie cérébrale retardée			Exprimées en % (IC95%)	
<u>Scores cliniques</u>				
Glasgow	0,65 (0,55-0,73)#	≤13	71 (56-82)	58(46-70)
WFNS	0,62 (0,53-0,71)#	≥3	63 (49-76)	61(49-73)
IGS-2	0,61 (0,51-0,69)#	≥40	44 (30-58)	76(64-85)
<u>Scores radiologiques</u>				
Fisher	0,58 (0,49-0,67)#	≥3	88 (76-95)	27 (17-40)
Fisher modifié	0,67 (0,58-0,75)#	≥3	82 (69-91)	48(36-61)
Claassen	0,67 (0,58-0,75)#	≥3	55 (41-69)	69 (56-78)
BNI	0,67 (0,58-0,75)#	≥3	88 (76-95)	38(26-50)
Hijdra	0,84 (0,79-0,90)	≥23	75 (61-86)	76 (64-85)
LeRoux	0,65 (0,55-0,73)#	≥3	55 (41-69)	70 (58-81)
Graeb	0,64 (0,55-0,73)#	≥1	78 (65-88)	51(39-63)
Score IVH	0,62 (0,52-0,70)#	≥7	55 (44-72)	67(55-78)
<u>Analyses volumétriques</u>				
		(ml)		
Sang total	0,68 (0,59-0,76)#	≥10	94 (84-98)	45(33-58)
Sang supra tentoriel	0,67 (0,58-0,75) #	≥9	88 (76-95)	48(36-61)
Sang intra parenchymateux	0,57 (0,48-0,66)#	≥3	73 (59-84)	50 (37-62)
Sang cisternal	0,80 (0,72-0,87)	≥10	86 (74-94)	64(52-75)
Sang intra ventriculaire	0,55 (0,46-0,64)#	≥0,5	53 (39-67)	65(52-76)
Sang cisternal + intraventriculaire	0,76 0,68-0,83)#	≥10	90 (78-96)	62(52-75)
Système ventriculaire	0,50 (0,40-0,59)#	≤17	9 (3-21)	75(63-84)

Tableau 10. Aires sous la courbe, valeurs seuils, sensibilités et spécificités des différents scores cliniques et radiologiques ainsi que des analyses volumétriques de notre algorithme pour la prédiction d'une l'HA.

Hydrocéphalie aiguë	ROCAUC <i>(IC95%)</i>	Seuil Optimal	Sensibilité	Spécificité
			<i>Exprimées en % (IC95%)</i>	
<u>Scores cliniques</u>				
Glasgow	0,67 (0,58-0,74) *	≤13	65 (54-76)	65 (52-76)
WFNS	0,65 (0,56-0,72) *	≥3	64 (53-75)	66 (54-77)
IGS-2	0,70 (0,62-0,77)	≥28	79 (69-88)	50 (32-75)
<u>Scores radiologiques</u>				
Fisher	0,64 (0,55-0,71) *	≥3	94 (87-98)	33 (22-46)
Fisher modifié	0,65 (0,56-0,73) *	≥3	84 (75-91)	46(34-59)
Claassen	0,64 (0,55-0,72) *	≥3	62 (50-72)	68 (55-79)
BNI	0,57 (0,48-0,65) *	≥4	49 (37-60)	60 (50-75)
Hijdra	0,65 (0,57-0,73) *	≥26	53 (41-64)	75 (63-85)
LeRoux	0,75 (0,67-0,82) *	≥2	77 (63-83)	65 (52-76)
Graeb	0,76 (0,68-0,83) *	≥2	68 (56-78)	75 (63-83)
Score IVH	0,79 (0,72-0,85)	≥8	65 (54-76)	84 (73-92)
<u>Analyses volumétriques</u>				
		<i>(ml)</i>		
Sang total	0,64 (0,56-0,72) *	≥27	55 (44-66)	74 (62-84)
Sang supra-tentorial	0,61 (0,53-0,69) *	≥24	46 (36-59)	75 (63-85)
Sang intra parenchymateux	0,63 (0,55-0,71) *	≥10	48 (38-58)	75 (63-85)
Sang cisternal	0,59 (0,51-0,68) *	≥5	86 (76-92)	33 (22-46)
Sang intra ventriculaire	0,67 (0,58-0,74) *	≥0,5	65 (54-76)	69 (57-80)
Sang cisternal + intra ventriculaire	0,66 (0,58-0,74) *	≥24	45 (34-57)	83 (72-91)
Système ventriculaire	0,78 (0,70-0,84)	≥31	70 (59-80)	75 (63-85)

Tableau 11. Aires sous la courbe, valeurs seuils, sensibilités et spécificités des différents scores cliniques et radiologiques ainsi que des analyses volumétriques de notre algorithme pour la prédiction de l'évolution neurologique

Evolution neurologique	ROCAUC (IC95%)	Seuil Optimal	Spécificité	Sensibilité
			<i>Exprimées en % (IC95%)</i>	
<u>Scores cliniques</u>				
Glasgow	0,79 (0,72-0,85)	≤13	81(69-90)	69(58-79)
WFNS	0,80 (0,72-0,86)	≥3	85(73-92)	64(53-74)
IGS-2	0,80 (0,73-0,86)	≥40	76(64-86)	81(71-88)
<u>Scores radiologiques</u>				
Fisher	0,58 (0,50-0,66) \$	≥3	91 (81-97)	24 (16-35)
Fisher modifié	0,62 (0,54-0,70) \$	≥3	83 (71-91)	38 (28-50)
Claassen	0,67 (0,59-0,74) \$	≥3	65 (51-76)	63 (52-73)
BNI	0,71 (0,63-0,78)	≥4	65 (51-76)	71(61-81)
Hijdra	0,72 (0,64-0,79)	≥22	81 (69-90)	60 (48-70)
LeRoux	0,66 (0,58-0,74) \$	≥4	60 (46-72)	76 (66-85)
Graeb	0,66 (0,57-0,73) \$	≥3	56 (43-69)	72 (62-82)
Score IVH	0,62 (0,54-0,70) \$	≥7	61 (48-73)	62 (51-72)
<u>Analyses volumétriques</u>				
		(ml)		
Sang total	0,74 (0,66-0,81)	≥26	66 (53-78)	71 (61-81)
Sang supra-tentorial	0,74 (0,66-0,81)	≥22	63 (49-75)	76 (66-85)
Sang intra parenchymateux	0,74 (0,66-0,81)	≥7	73 (60-83)	68 (57-77)
Sang cisternal	0,70 (0,62-0,77) \$	≥9	85 (73-92)	48 (37-59)
Sang intra ventriculaire	0,65 (0,57-0,73) \$	≥1	55 (41-67)	75 (64-84)
Sang cisternal + intra ventriculaire	0,72 (0,64-0,79)	≥14	71 (58-82)	61 (50-71)
Système ventriculaire	0,65 (0,57-0,73) \$	≤40	55 (41-67)	75 (64-84)

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.