

Année 2022-2023

N°

Thèse

Pour le
DOCTORAT EN MEDECINE

Diplôme d'État
par

Rozenn MAINGUY

Née le 27 juillet 1995 à Chambray-les-Tours (37)

**ANALYSE DES PRATIQUES D'IMAGERIE A LA
PHASE AIGUE DE L'HEMORRAGIE CEREbraLE :
MODALITES, IMAGERIE VASCULAIRE ET RENDEMENT
DANS LA RECHERCHE ETIOLOGIQUE**

Présentée et soutenue publiquement le **7 novembre 2023** devant un jury composé de :

Président du Jury : Professeur Jean-Philippe COTTIER, Neuroradiologie, Faculté de Médecine - Tours

Membres du Jury :

Professeur Baptiste MOREL, Radiologie Pédiatrique, Faculté de Médecine - Tours

Docteur Marco PASI, Neurologie, PH, CHU - Tours

Docteur Clara COHEN, Neuroradiologie, PHC, CHR - Orléans

Docteur Grégoire BOULOUIS, Neuroradiologie Interventionnelle, PH, CHU - Tours

ANALYSE DES PRATIQUES D'IMAGERIE A LA PHASE AIGUE DE L'HEMORRAGIE CEREBRALE : MODALITES, IMAGERIE VASCULAIRE ET RENDEMENT DANS LA RECHERCHE ETIOLOGIQUE

Résumé :

Objectif - L'hémorragie cérébrale est une pathologie grave et fréquemment mortelle, pour laquelle l'imagerie joue un rôle crucial mais n'est pas standardisée. Cette étude vise à évaluer les protocoles d'imagerie réalisés à la phase aiguë de l'hémorragie cérébrale et la proportion de patients diagnostiqués dès la phase aiguë d'une hémorragie secondaire.

Patients et méthodes - Il s'agit d'une étude observationnelle rétrospective multicentrique, utilisant les données de la filière "Alerte AVC" du réseau de téléimagerie IMADIS. Parmi les patients pris en charge au sein de plus de 100 hôpitaux de recours français pour une suspicion d'AVC aigu de mars 2021 à avril 2023, ceux présentant une hémorragie cérébrale ont été identifiés. Leurs comptes-rendus d'imagerie ont été relus afin d'identifier la modalité d'imagerie et le protocole réalisés et de rechercher si une cause secondaire a été mise en évidence.

Résultats - Parmi les 18 401 patients inclus dans l'étude, 756 hémorragies cérébrales ont été identifiées (4,1%). Le scanner était la modalité d'imagerie la plus largement utilisée à la phase aiguë de l'hémorragie cérébrale (71,8% des examens). Une imagerie vasculaire a été réalisée chez 78% des patients ayant présenté une hémorragie cérébrale, s'agissant le plus souvent d'un angioscanner artériel ou d'une angio-IRM TOF. Une cause secondaire a été retrouvée dans 10% des hémorragies cérébrales, comprenant une imagerie vasculaire dans une très grande majorité des cas (94,7%).

Conclusion - Une optimisation et une standardisation des protocoles d'imagerie à la phase aiguë de l'hémorragie cérébrale est indispensable pour améliorer la détection de ses causes secondaires, notamment vasculaires, nécessitant une prise en charge urgente.

Mots clés : Accident vasculaire cérébral, hémorragie cérébrale, ischémie cérébrale, imagerie diagnostique

MODALITIES AND VASCULAR IMAGING IN A TELE-IMAGING NETWORK: A FOCUS ON PRACTICES IN INTRACEREBRAL HEMORRHAGE

Summary:

Objective - Cerebral hemorrhage is a life-threatening condition, with imaging playing a crucial role but remaining non-standardized. This analysis seeks to examine the imaging protocols used during the acute phase of cerebral hemorrhage and ascertain the proportion of patients diagnosed with secondary hemorrhage.

Patients and methods - A multicenter retrospective observational study was conducted across over 100 French hospitals affiliated with the IMADIS tele-imaging network. Among patients managed in the “Stroke Alert” pathway for suspected acute stroke from March 2021 to April 2023, those with cerebral hemorrhage were identified. Their imaging reports underwent review to identify the imaging modality and protocol performed and investigate whether a secondary cause has been identified.

Results - Of the 18,401 patients included in the study, 756 cerebral hemorrhages were identified (4.1%). Computed tomography was the most widely used imaging modality in the acute phase of cerebral hemorrhage (71.8% of examinations). Vascular imaging was performed in 78% of patients with cerebral hemorrhage, most often computed tomography angiography or TOF magnetic resonance angiography. A secondary cause was found in 10% of cerebral hemorrhages, including vascular imaging in the vast majority of cases (94.7%).

Conclusion - Optimization and standardization of imaging protocols in the acute phase of cerebral hemorrhage is essential to improve the detection of its secondary causes, particularly vascular, requiring urgent treatment.

Key words:

Stroke, cerebral hemorrhage, cerebral ischemia, diagnostic imaging

UNIVERSITE DE TOURS
FACULTE DE MEDECINE DE TOURS

DOYEN
Pr Patrice DIOT

VICE-DOYEN
Pr Henri MARRET

ASSESEURS
Pr Denis ANGOULVANT, *Pédagogie*
Pr Mathias BUCHLER, *Relations internationales*
Pr Theodora BEJAN-ANGOULVANT, *Moyens – relations avec l'Université*
Pr Clarisse DIBAO-DINA, *Médecine générale*
Pr François MAILLOT, *Formation Médicale Continue*
Pr Patrick VOURC'H, *Recherche*

RESPONSABLE ADMINISTRATIVE
Mme Carole ACCOLAS

DOYENS HONORAIRES
Pr Emile ARON (†) – 1962-1966
Directeur de l'Ecole de Médecine - 1947-1962
Pr Georges DESBUQUOIS (†) – 1966-1972
Pr André GOUAZE (†) – 1972-1994
Pr Jean-Claude ROLLAND – 1994-2004
Pr Dominique PERROTIN – 2004-2014

PROFESSEURS EMERITES
Pr Daniel ALISON
Pr Gilles BODY
Pr Philippe COLOMBAT
Pr Etienne DANQUECHIN-DORVAL
Pr Luc FAVARD
Pr Bernard FOUQUET
Pr Yves GRUEL
Pr Gérard LORETTE
Pr Loïc VAILLANT

PROFESSEURS HONORAIRES
P. ANTHONIOZ – P. ARBEILLE – A. AUDURIER – A. AUTRET – C. BARTHELEMY – J.L. BAULIEU – C. BERGER –
JC. BESNARD – P. BEUTTER – C. BONNARD – P. BONNET – P. BOUGNOUX – P. BURDIN – L. CASTELLANI – J.
CHANDENIER – A. CHANTEPIE – B. CHARBONNIER – P. CHOUTET – T. CONSTANS – C. COUET – L. DE LA
LANDE DE CALAN – P. DUMONT – J.P. FAUCHIER – F. FETISSOF – J. FUSCIARDI – P. GAILLARD – G. GINIES –
D. GOGA – A. GOUDEAU – J.L. GUILMOT – O. HAILLOT – N. HUTEN – M. JAN – J.P. LAMAGNERE – F. LAMISSE
– Y. LANSON – O. LE FLOCH – Y. LEBRANCHU – E. LECA – P. LECOMTE – AM. LEHR-DRYLEWICZ – E. LEMARIE
– G. LEROY – M. MARCHAND – C. MAURAGE – C. MERCIER – J. MOLINE – C. MORAINÉ – J.P. MUH – J. MURAT
– H. NIVET – D. PERROTIN – L. POURCELOT – R. QUENTIN – P. RAYNAUD – D. RICHARD-LENOBLE – A. ROBIER
– J.C. ROLLAND – P. ROSSET – D. ROYERE – A. SAINDELLE – E. SALIBA – J.J. SANTINI – D. SAUVAGE – D.
SIRINELLI – J. WEILL

PROFESSEURS DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS

ANDRES Christian.....	Biochimie et biologie moléculaire
ANGOULVANT Denis	Cardiologie
APETOH Lionel	Immunologie
AUPART Michel.....	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
BABUTY Dominique	Cardiologie
BACLE Guillaume.....	Chirurgie orthopédique et traumatologique
BAKHOS David.....	Oto-rhino-laryngologie
BALLON Nicolas.....	Psychiatrie ; addictologie
BARBIER François.....	Médecine intensive et réanimation
BARILLOT Isabelle.....	Cancérologie ; radiothérapie
BARON Christophe.....	Immunologie
BEJAN-ANGOULVANT Théodora.....	Pharmacologie clinique
BERHOUE Julien.....	Chirurgie orthopédique et traumatologique
BERNARD Anne	Cardiologie
BERNARD Louis	Maladies infectieuses et maladies tropicales
BLANCHARD-LAUMONNIER Emmanuelle	Biologie cellulaire
BLASCO Hélène.....	Biochimie et biologie moléculaire
BONNET-BRILHAULT Frédérique	Physiologie
BOURGUIGNON Thierry	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
BRILHAULT Jean.....	Chirurgie orthopédique et traumatologique
BRUNEREAU Laurent	Radiologie et imagerie médicale
BRUYERE Franck.....	Urologie
BUCHLER Matthias.....	Néphrologie
CAILLE Agnès	Biostat., informatique médical et technologies de communication
CALAIS Gilles.....	Cancérologie, radiothérapie
CAMUS Vincent.....	Psychiatrie d'adultes
CORCIA Philippe.....	Neurologie
COTTIER Jean-Philippe	Radiologie et imagerie médicale
DEQUIN Pierre-François.....	Thérapeutique
DESMIDT Thomas	Psychiatrie
DESOUBEUX Guillaume.....	Parasitologie et mycologie
DESTRIEUX Christophe	Anatomie
DI GUISTO Caroline	Gynécologie obstétrique
DIOT Patrice.....	Pneumologie
DU BOUEXIC de PINIEUX Gonzague	Anatomie & cytologie pathologiques
DUCLUZEAU Pierre-Henri.....	Endocrinologie, diabétologie, et nutrition
EHRMANN Stephan	Médecine intensive – réanimation
EL HAGE Wissam.....	Psychiatrie adultes
ELKRIEF Laure.....	Hépatologie – gastroentérologie
ESPITALIER Fabien.....	Anesthésiologie et réanimation, médecine d'urgence
FAUCHIER Laurent	Cardiologie
FOUGERE Bertrand	Gériatrie
FRANCOIS Patrick.....	Neurochirurgie
FROMONT-HANKARD Gaëlle	Anatomie & cytologie pathologiques
GATAULT Philippe.....	Néphrologie
GAUDY-GRAFFIN Catherine.....	Bactériologie-virologie, hygiène hospitalière
GOUPILLE Philippe.....	Rhumatologie
GUERIF Fabrice	Biologie et médecine du développement et de la reproduction
GUILLON Antoine.....	Médecine intensive – réanimation
GUILLON-GRAMMATICO Leslie.....	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
GUYETANT Serge	Anatomie et cytologie pathologiques
GYAN Emmanuel.....	Hématologie, transfusion
HALIMI Jean-Michel.....	Thérapeutique
HANKARD Régis.....	Pédiatrie
HERAULT Olivier	Hématologie, transfusion
HERBRETEAU Denis	Radiologie et imagerie médicale
HOURIOUX Christophe.....	Biologie cellulaire
IVANES Fabrice	Physiologie
LABARTHE François	Pédiatrie
LAFFON Marc	Anesthésiologie et réanimation chirurgicale, médecine d'urgence
LARDY Hubert.....	Chirurgie infantile
LARIBI Saïd.....	Médecine d'urgence
LARTIGUE Marie-Frédérique.....	Bactériologie-virologie
LAURE Boris.....	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
LECOMTE Thierry.....	Gastroentérologie, hépatologie

LEGRAS Antoine.....	Chirurgie thoracique
LESCANNE Emmanuel.....	Oto-rhino-laryngologie
LEVESQUE Éric.....	Anesthésiologie et réanimation chirurgicale, médecine d'urgence
LINASSIER Claude	Cancérologie, radiothérapie
MACHET Laurent	Dermato-vénéréologie
MAILLOT François	Médecine interne
MARCHAND-ADAM Sylvain	Pneumologie
MARRET Henri	Gynécologie-obstétrique
MARUANI Annabel	Dermatologie-vénéréologie
MEREGHETTI Laurent	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
MITANCHEZ Delphine	Pédiatrie
MOREL Baptiste.....	Radiologie pédiatrique
MORINIERE Sylvain.....	Oto-rhino-laryngologie
MOUSSATA Driffa	Gastro-entérologie
MULLEMAN Denis	Rhumatologie
ODENT Thierry.....	Chirurgie infantile
OUAISSI Mehdi	Chirurgie digestive
OULDAMER Lobna	Gynécologie-obstétrique
PAINTAUD Gilles	Pharmacologie fondamentale, pharmacologie clinique
PATAT Frédéric	Biophysique et médecine nucléaire
PERROTIN Franck	Gynécologie-obstétrique
PISELLA Pierre-Jean.....	Ophthalmologie
PLANTIER Laurent.....	Physiologie
REMERAND Francis	Anesthésiologie et réanimation, médecine d'urgence
ROINGEARD Philippe.....	Biologie cellulaire
RUSCH Emmanuel.....	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
SAINT-MARTIN Pauline.....	Médecine légale et droit de la santé
SALAME Ephrem.....	Chirurgie digestive
SAMIMI Mahtab	Dermatologie-vénéréologie
SANTIAGO-RIBEIRO Maria	Biophysique et médecine nucléaire
SAUTENET-BIGOT Bénédicte.....	Thérapeutique
THOMAS-CASTELNAU Pierre	Pédiatrie
TOUTAIN Annick.....	Génétique
VELUT Stéphane	Anatomie
VOURC'H Patrick.....	Biochimie et biologie moléculaire
WATIER Hervé	Immunologie
ZEMMOURA Ilyess	Neurochirurgie

PROFESSEUR DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE

DIBAO-DINA Clarisse
LEBEAU Jean-Pierre

PROFESSEURS ASSOCIES

MALLET Donatien.....Soins palliatifs

PROFESSEUR CERTIFIE DU 2ND DEGRE

MC CARTHY Catherine.....Anglais

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS

AUDEMARD-VERGER Alexandra	Médecine interne
BISSON Arnaud	Cardiologie (CHRO)
BRUNAULT Paul	Psychiatrie d'adultes, addictologie
CARVAJAL-ALLEGRIA Guillermo.....	Rhumatologie (au 01/10/2021)
CLEMENTY Nicolas	Cardiologie
DOMELIER Anne-Sophie	Bactériologie-virologie, hygiène hospitalière
DUFOUR Diane	Biophysique et médecine nucléaire
FOUQUET-BERGEMER Anne-Marie.....	Anatomie et cytologie pathologiques
GARGOT Thomas	Pédopsychiatrie
GOUILLEUX Valérie.....	Immunologie
HOARAU Cyrille	Immunologie
KERVARREC Thibault	Anatomie et cytologie pathologiques
LE GUELLEC Chantal.....	Pharmacologie fondamentale, pharmacologie clinique
LEDUCQ Sophie	Dermatologie
LEFORT Bruno	Pédiatrie
LEJEUNE Julien	Hématologie, transfusion
LEMAIGNEN Adrien	Maladies infectieuses
MACHET Marie-Christine	Anatomie et cytologie pathologiques
MOUMNEH Thomas	Médecine d'urgence
PARE Arnaud.....	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
PIVER Éric.....	Biochimie et biologie moléculaire
ROUMY Jérôme	Biophysique et médecine nucléaire
STANDLEY-MIQUELESTORENA Elodie	Anatomie et cytologie pathologiques
STEFIC Karl	Bactériologie
TERNANT David.....	Pharmacologie fondamentale, pharmacologie clinique
VAYNE Caroline	Hématologie, transfusion
VUILLAUME-WINTER Marie-Laure.....	Génétique

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

AGUILLON-HERNANDEZ Nadia.....	Neurosciences
NICOGLU Antonine	Philosophie – histoire des sciences et des techniques
PATIENT Romuald.....	Biologie cellulaire
RENOUX-JACQUET Cécile	Médecine Générale

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES

AUMARECHAL Alain	Médecine Générale
BARBEAU Ludivine.....	Médecine Générale
CHAMANT Christelle	Médecine Générale
ETTORI Isabelle.....	Médecine Générale
MOLINA Valérie	Médecine Générale
PAUTRAT Maxime	Médecine Générale
PHILIPPE Laurence.....	Médecine Générale
RUIZ Christophe.....	Médecine Générale
SAMKO Boris.....	Médecine Générale

CHERCHEURS INSERM - CNRS - INRAE

BECKER Jérôme.....	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253
BOUAKAZ Ayache.....	Directeur de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253
BOUTIN Hervé.....	Directeur de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253
BRIARD Benoît.....	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1100
CHALON Sylvie.....	Directrice de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253
DE ROCQUIGNY Hugues.....	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1259
ESCOFFRE Jean-Michel.....	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253
GILOT Philippe.....	Chargé de Recherche Inrae – UMR Inrae 1282
GOMOT Marie.....	Chargée de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253
GOUILLEUX Fabrice.....	Directeur de Recherche CNRS – EA 7501 - ERL CNRS 7001
GUEGUINOU Maxime.....	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1069
HEUZE-VOURCH Nathalie.....	Directrice de Recherche Inserm – UMR Inserm 1100
KORKMAZ Brice.....	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1100
LATINUS Marianne.....	Chargée de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253
LAUMONNIER Frédéric.....	Directeur de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253
LE MERRER Julie.....	Directrice de Recherche CNRS – UMR Inserm 1253
MAMMANO Fabrizio.....	Directeur de Recherche Inserm – UMR Inserm 1259
MEUNIER Jean-Christophe.....	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1259
PAGET Christophe.....	Directeur de Recherche Inserm – UMR Inserm 1100
RAOUL William.....	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1069
SECHER Thomas.....	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1100
SI TAHAR Mustapha.....	Directeur de Recherche Inserm – UMR Inserm 1100
SUREAU Camille.....	Directrice de Recherche émérite CNRS – UMR Inserm 1259
TANTI Arnaud.....	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253
WARDAK Claire.....	Chargée de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253

CHARGES D'ENSEIGNEMENT

Pour l'éthique médicale

BIRMELE Béatrice.....Praticien Hospitalier

Pour la médecine manuelle et l'ostéopathie médicale

LAMANDE Marc.....Praticien Hospitalier

Pour l'orthophonie

BATAILLE Magalie.....Orthophoniste
CLOUTOUR Nathalie.....Orthophoniste
CORBINEAU Mathilde.....Orthophoniste
EL AKIKI Carole.....Orthophoniste
HARIVEL OUALLI Ingrid.....Orthophoniste
IMBERT Mélanie.....Orthophoniste
SIZARET Eva.....Orthophoniste

Pour l'orthoptie

BOULNOIS Sandrine.....Orthoptiste

SERMENT D'HIPPOCRATE

En présence des enseignants et enseignantes
de cette Faculté,
de mes chers condisciples
et selon la tradition d'Hippocrate,
je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur
et de la probité dans l'exercice de la Médecine.

Je donnerai mes soins gratuits aux indigents,
et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail.

Admis(e) dans l'intérieur des maisons, mes yeux
ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira
les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas
à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime.

Respectueux(euse) et reconnaissant(e) envers mes Maîtres,
je rendrai à leurs enfants
l'instruction que j'ai reçue de leurs parents.

Que les hommes et les femmes m'accordent leur estime
si je suis fidèle à mes promesses.
Que je sois couvert(e) d'opprobre
et méprisé(e) de mes confrères et consœurs
si j'y manque.

REMERCIEMENTS

Aux membres du jury,

**Monsieur le Professeur Jean-Philippe COTTIER,
Professeur des Universités - Praticien Hospitalier,
Service de Neuroradiologie,
CHU de Tours**

Vous m'avez fait un grand honneur en acceptant de présider le jury de cette thèse. Je vous remercie pour votre accompagnement, votre disponibilité et votre bienveillance tout au long de mon internat. Je tiens à vous témoigner ma reconnaissance et mon profond respect.

**Monsieur le Professeur Baptiste MOREL,
Professeur des Universités - Praticien Hospitalier,
Service de Radiologie pédiatrique,
CHU de Tours**

Je vous suis très reconnaissante d'avoir accepté de juger mon travail de thèse. Je vous remercie pour votre encadrement et votre implication au cours de mon internat. Ce fut un plaisir de travailler à vos côtés. Veuillez trouver ici la marque de ma gratitude et de mon profond respect.

**Monsieur le Docteur Marco PASI,
Praticien Hospitalier,
Service de Neurologie,
CHU de Tours**

Je suis très honorée de compter un neurologue dans mon jury de thèse tant nos disciplines se complètent. Je vous remercie de l'intérêt que vous avez porté à mon travail. Recevez ici toute ma reconnaissance.

**Madame le Docteur Clara Cohen,
Praticien Hospitalier Contractuel,
Service de Neuroradiologie,
CHR d'Orléans**

C'est avec un grand enthousiasme que je te remercie de juger mon travail de thèse. Je suis très admirative de tes connaissances et de ton implication dans la formation des internes. Je tiens à te témoigner ma reconnaissance et mon profond respect.

A mon directeur de thèse,

**Monsieur le Docteur Grégoire BOULOUIS,
Praticien Hospitalier,
Service de Neuroradiologie Interventionnelle,
CHU de Tours**

Cela a été un véritable honneur d'accomplir ce travail de thèse avec toi. Je te remercie pour ton encadrement, ta disponibilité, ton implication et ta gentillesse tout au long de ce travail. Merci de m'avoir accordé ta confiance.

A ma famille,

Je remercie avant tout ma famille pour son soutien indéfectible :

A mes parents, A mon frère Guénolé, A mes grands-parents.

A Tanguy,

Merci pour tous ces moments extraordinaires passés ensemble mais aussi ceux à venir.

A mes amies les plus proches, Imane, Amélie et Audrey,

Merci d'être toujours là et de pouvoir tout partager avec vous.

A tous mes amis, en particulier :

A mon ami et co-interne Valentin, un véritable soutien depuis tant d'années.

A mes amis de l'externat, Thomas, Léa, Perrine, Anne, Ondine, Camille, Mathilde, Nabil, Lucas et Whitney, avec qui j'ai passé tant de bons moments.

A mes amies Marie et Estelle, de belles rencontres dès mon début d'internat.

A mes co-internes, Alexandre, Hugo, Olivier, Camille, Pierre ect, merci pour ces bons moments passés en stage et hors stage.

A mes collègues,

A toute l'équipe médicale et paramédicale de Radiologie de Bretonneau, j'ai beaucoup apprécié l'année passée avec vous.

A toute l'équipe médicale et paramédicale de Neuroradiologie d'Orléans, merci pour votre gentillesse et de m'avoir donné goût à la neuroradiologie.

A toute l'équipe médicale et paramédicale de Radiologie Pédiatrique de Clocheville, merci pour votre accueil chaleureux.

Un grand merci à l'équipe d'IMADIS,

En particulier à Madame Jessica ARISTIZABAL, au Docteur Jérôme BAILLEUX, au Docteur Amandine CROMBE, au Docteur Bérangère DELORME, au Docteur Guillaume GORINCOUR et à Madame Mylène SEUX, qui m'ont accompagnée dans ce projet.

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	10
Liste des abréviations	15
1 Introduction générale	16
1.1 L'hémorragie cérébrale.....	16
1.1.1 Définitions.....	16
1.1.2 Symptômes.....	16
1.1.3 Facteurs de risque.....	16
1.1.4 Causes dites « secondaires »	17
1.1.5 Épidémiologie	19
1.2 Imagerie de l'hémorragie cérébrale	21
1.2.1 Importance de l'imagerie dans la prise en charge de l'hémorragie cérébrale	21
1.2.2 Techniques d'imagerie de l'hémorragie cérébrale.....	22
1.2.3 Choix des techniques et protocoles d'imagerie	25
1.2.4 Influence du protocole d'imagerie sur l'identification d'une cause secondaire	26
1.2.5 Introduction aux réseaux de téléimagerie et à leur rôle dans l'imagerie des AVC	26
1.3 Rationnel de l'étude	27
2 Objectif de l'étude.....	28
3 Introduction de l'article	29
4 Patients and Methods	30
4.1 Study design	30
4.2 Inclusion and exclusion criteria.....	30
4.3 Variables of interest	30
4.4 Data validation and reliability.....	31
4.5 Study endpoints	31
4.6 Ethics.....	32
4.7 Statistical anaysis	32
4.7.1 Descriptive statistics	32
4.7.2 Associations with the main imaging findings in the entire cohort (i.e. ischemic stroke, hematoma and other).....	32
4.7.3 Other associations.....	32

5	RESULTS	34
5.1	Study sample	34
5.2	Characteristics associated with the main diagnoses in the Stroke workflow	34
5.3	Imaging modalities and protocols associated with ICH	36
5.4	Characteristics associated with vascular imaging in patients with ICH	37
5.5	Secondary causes of ICH	38
5.6	Characteristics associated with secondary ICH in patients with ICH	38
5.7	Imaging modalities and protocols associated with secondary ICH diagnosis	39
6	DISCUSSION.....	41
7	CONCLUSION.....	45
8	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	46

LISTE DES ABREVIATIONS

Introduction en français :

AHA/ASA	American Heart Association/American Stroke Association
ARM	Angiographie par Résonance Magnétique
AVC	Accident Vasculaire Ischémique
FAV	Fistule Artério-Veineuse
IRM	Imagerie par Résonance Magnétique
MAV	Malformation Artério-Veineuse
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
TOF	Time Of Flight

Article en anglais :

AVM	ArterioVenous Malformation
CT	Computed Tomography
CTA	Computed Tomography Angiography
CTV	Computed Tomography Venography
CI	Confidence Interval
Gd	Gadolinium
ICH	IntraCerebral Hemorrhage
MRA	Magnetic Resonance Angiography
MRI	Magnetic Resonance Imaging
MRV	Magnetic Resonance Venography
OR	Odds Ratio
TOF	Time Of Flight
WI	Weighted Imaging

1 INTRODUCTION GENERALE

1.1 L'HEMORRAGIE CEREBRALE

1.1.1 Définitions

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), les accidents vasculaires cérébraux (AVC) se définissent comme « l'apparition rapide de signes cliniques de troubles focaux ou globaux de la fonction cérébrale, durant plus de vingt-quatre heures ou conduisant à la mort, sans autre cause apparente qu'une origine vasculaire » ^[1]. Ils englobent des affections diverses, telles que les ischémies cérébrales (80 à 90 % des cas), les hémorragies intracérébrales (10 à 20 % des cas) – sujet de cette étude –, et les hémorragies méningées (~5 % des cas).

L'hémorragie intracérébrale spontanée se caractérise par une irruption de sang dans le cerveau, affectant le parenchyme cérébral et ses ventricules, non induit par un traumatisme ^[2].

1.1.2 Symptômes

La présentation clinique d'une hémorragie cérébrale et d'une ischémie cérébrale est relativement similaire, consistant généralement en un déficit neurologique focal de début brutal. L'hémorragie cérébrale est souvent accompagnée de troubles de la conscience, de céphalées, de crises d'épilepsie, de nausées ou de vomissements, mais aucun de ces symptômes n'est spécifique et ne permet de distinguer formellement une hémorragie d'une ischémie cérébrale. Un coma peut être révélateur d'une hémorragie cérébrale, en particulier de la fosse postérieure.

1.1.3 Facteurs de risque

L'hémorragie cérébrale est généralement le résultat de l'interaction de divers facteurs de risque, bien qu'un seul puisse parfois prédominer et jouer un rôle prépondérant ^[3]. Les facteurs non modifiables comprennent l'âge avancé, le sexe masculin, l'origine ethnique non caucasienne, et les antécédents d'hémorragie cérébrale. Les facteurs modifiables incluent l'hypertension artérielle, l'usage d'anticoagulants ou

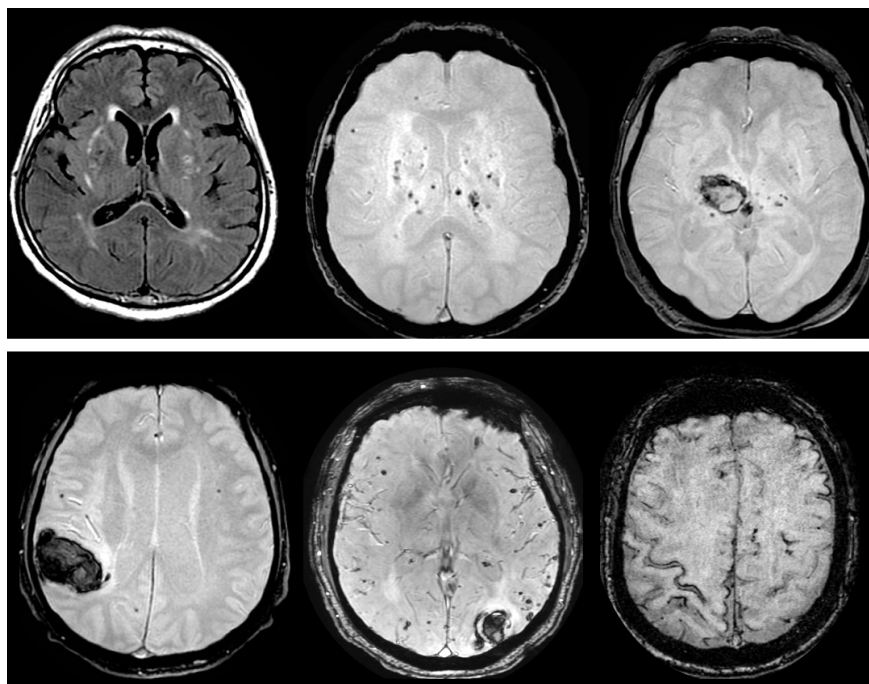
d'antiagrégants plaquettaires, le tabagisme actif, la consommation excessive d'alcool, le diabète, et l'usage de sympathomimétiques ou de drogues illicites [3,4].

Des études cas-témoins et des études de cohorte ont démontré que l'hypertension artérielle en est le principal facteur de risque, souvent associée à des saignements profonds [4]. Une méta-analyse de onze études cas-témoins a révélé que le risque d'hémorragie cérébrale est environ 3,5 fois supérieur chez les patients hypertendus par rapport aux normotendus [4].

1.1.4 Causes dites « secondaires »

Les causes dites « secondaires » de l'hémorragie cérébrale sont nombreuses et sont décrites par opposition aux hémorragies cérébrales « primaires » résultant d'une maladie des petites artères cérébrales (Voir Figure 1), aussi appelée microangiopathie cérébrale, qui est la première cause d'hémorragie cérébrale chez l'adulte. La maladie des petites artères est fréquemment en lien avec une hypertension artérielle [5,6], à l'origine d'une lipohyalinose des artères perforantes favorisant la rupture de petites artérioles, mais peut également être en rapport avec une angiopathie amyloïde cérébrale [7], se caractérisant par l'accumulation de dépôts de protéines amyloïdes dans les parois des petites artères cérébrales.

Figure 1. Exemples d'IRM de patients pris en charge pour une hémorragie cérébrale.



Légende : IRM de patients présentant une hémorragie cérébrale « primaire ». Ligne du haut : hémorragie thalamique droite, dans un contexte de microangiopathie hypertensive (microbleeds de topographie mixte, lacunes). Ligne du bas : hématome pariétal droit aigu chez un patient ayant une angiopathie amyloïde cérébrale (microbleeds superficiels, sidérose et séquelle d'hématome occipital gauche).

Parmi les causes secondaires (Voir Table 1), une hémorragie cérébrale résulte souvent d'une étiologie macrovasculaire, causée par la rupture d'une anomalie vasculaire identifiable (anévrisme intracrânien, malformation artérioveineuse (MAV), fistules artérioveineuses (FAV) dures, FAV piales). Les anévrismes sont définis comme des dilatations focales anormales et permanentes d'une artère intracrânienne. Les MAV sont composées d'un amas de vaisseaux anormaux appelé « nidus » formant un shunt artérioveineux intracérébral, alimenté par des branches artérielles piales. Les FAV dures consistent en une ou plusieurs communications anormales directes artérioveineuses siégeant dans l'épaisseur de la dure-mère crânienne, principalement en regard d'un sinus dural, se distinguant des MAV par leur topographie durale et non piale et par leur absence de nidus. Les FAV piales quant à elles sont définies comme une communication anormale directe entre une artère piale dilatée et une veine corticale.

D'autres causes d'hémorragie cérébrale peuvent être retrouvées, telles qu'une transformation hémorragique d'un AVC ischémique, spontanée ou compliquant un traitement thrombolytique, une thrombose veineuse cérébrale, obstruction de veines intracrâniennes incluant les thromboses de sinus veineux durs, de veines corticales ou de veines cérébrales profondes, ou encore un cavernome cérébral, malformation vasculaire de type capillaire à flux lent sans shunt artérioveineux.

L'hémorragie cérébrale peut également avoir une étiologie tumorale, primaire ou secondaire. Les tumeurs cérébrales primaires, développées à partir des cellules spécialisées constituant le système nerveux central, peuvent être malignes, principalement représentées par les gliomes chez l'adulte ou les médulloblastomes chez l'enfant, ou bien bénignes, telles que les méningiomes, hémangioblastomes, adénomes hypophysaires ou pinéalomes. Les tumeurs secondaires ou métastases sont les tumeurs cérébrales les plus fréquentes, provenant dans deux tiers des cas d'un cancer broncho-pulmonaire, d'un cancer du sein ou d'un mélanome [8].

Table 1. Causes dites secondaires d'hémorragie cérébrale.

CLINIQUE - ÉLÉMENTS D'ORIENTATION À L'IMAGERIE	CAUSES SECONDAIRES
Céphalées en coup de tonnerre	- SVCR - TVC - Rupture d'anévrisme
Fièvre	- Infection du SNC - Endocardite - Angéite systémique avec atteinte du SNC
Contexte de cancer actif	- Métastase hémorragique - Tumeur primaire hémorragique - Troubles de l'hémostase
Coexistence de lésions ischémiques et hémorragiques	- TVC (lésions ischémiques non systématisées) - SVCR - PRES - Endocardite - Angéite systémique avec atteinte du SNC
Œdème disproportionné	- Métastase hémorragique - TVC - PRES
Hémorragies cérébrales multiples	- Métastase hémorragique - TVC - SVCR - Angéite systémique avec atteinte du SNC - Endocardite
Prise de contraste leptoméningée	- Méningite - Angéite systémique avec atteinte du SNC
Hémorragie sous-arachnoïdienne associée	- Anévrisme - TCV - SVCR - FAV durable - MAV
Usage de drogues	- PRES - SVCR - Angéite liée à la prise de cocaïne
Symptômes psychiatriques	- Maladie génétique des petites artères cérébrales - Angéite systémique avec atteinte du SNC
Altération préexistante du niveau de conscience	- PRES - Encéphalite - TVC profonde

Légende : Abréviations : FAV : fistule artério-veineuse, MAV : malformation artério-veineuse, PRES : syndrome d'encéphalopathie postérieure réversible, SNC : système nerveux central, SVCR : syndrome de vasoconstriction cérébrale réversible, TVC : thrombose veineuse cérébrale.

1.1.5 Épidémiologie

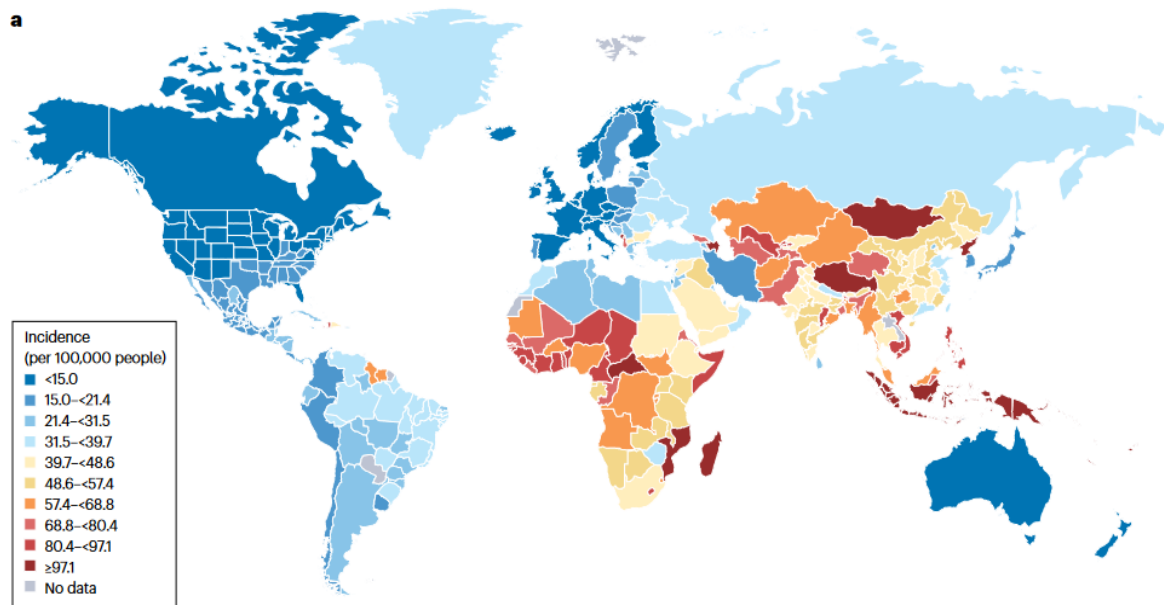
L'hémorragie cérébrale est un enjeu de santé public majeur, lourd fardeau pour les patients, les soignants, les aidants et la société [9].

Contrairement à l'ischémie cérébrale, son incidence est stable depuis les années 1980 [10], représentant 10 à 30 cas pour 100 000 habitants par an [11]. Ce nombre pourrait doubler au cours des cinquante prochaines années, notamment en raison d'une

population vieillissante chez laquelle la pression artérielle n'est pas toujours contrôlée et qui utilise une proportion croissante d'antithrombotiques ^[12].

L'incidence de l'hémorragie cérébrale augmente avec l'âge ^[13], en particulier à partir de 55 ans, et est plus élevée dans certaines populations ^[13] (Voir Figure 2).

Figure 2. Distribution mondiale du taux d'incidence des hémorragies intracérébrales standardisé par âge pour 100000 personnes (Adaptation de Puy et al. ^[14], d'après la figure de Feigin et al.^[9]



Son pronostic a peu évolué au cours des dernières années, avec un taux de mortalité de 50% à un an et un taux de handicap parmi les survivants de 70% ^[9].

Il s'agit donc d'une pathologie grave et fréquemment mortelle, dont l'amélioration du pronostic dépendra dans le futur vraisemblablement plus d'un ensemble de mesures d'optimisation des soins (« care bundles ^[15]»), telles qu'une réversion rapide des traitements anticoagulants, une réduction intensive de la pression artérielle et une orientation neurochirurgicale immédiate des patients prémorbides, plutôt que d'une innovation technique spécifique telle que la thrombectomie mécanique dans l'AVC ischémique.

1.2 IMAGERIE DE L'HEMORRAGIE CEREBRALE

1.2.1 Importance de l'imagerie dans la prise en charge de l'hémorragie cérébrale

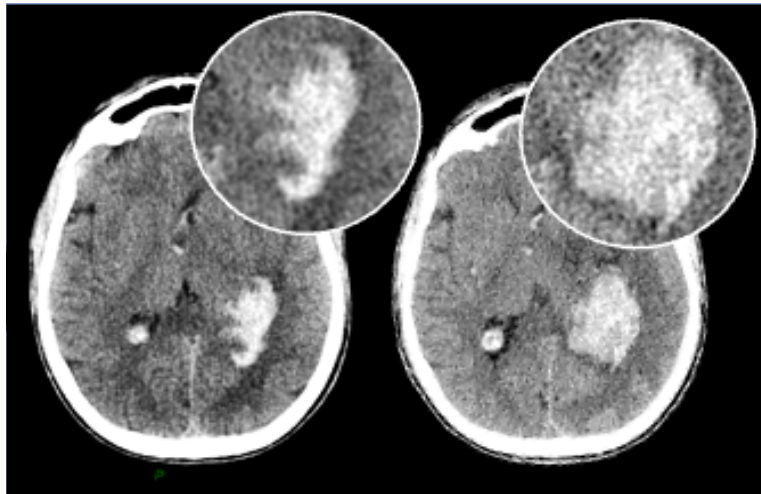
L'organisation du système de soins est reconnue comme un élément clé de la prise en charge optimale des AVC, et les recommandations de l'American Heart Association/American Stroke Association ^[16] (AHA/ASA) concernant l'hémorragie cérébrale, mises à jour en 2022, mettent en avant la place centrale de l'imagerie au sein de ce système de soin.

L'imagerie cérébrale est tout d'abord essentielle pour distinguer une hémorragie d'une ischémie cérébrale, et donc pour guider la prise en charge initiale. L'AHA/ASA recommande de réaliser rapidement une imagerie – scanner ou imagerie par résonance magnétique (IRM) – chez tout patient présentant une symptomatologie d'AVC afin d'établir le diagnostic d'hémorragie cérébrale.

L'imagerie cérébrale à la phase aiguë de l'hémorragie cérébrale peut également fournir des informations pronostiques importantes pour la gradation des soins et la communication avec les proches et la famille. En effet, dans les 24 premières heures suivant l'apparition des symptômes, il est fréquent que l'hémorragie croisse en volume (expansion de l'hématome) ^[17,18] (Voir Figure 3), résultant en un moins bon pronostic fonctionnel et une augmentation de la mortalité. L'identification de marqueurs d'imagerie, tels que le « spot sign » à l'angioscanner ^[19] (correspondant à la visualisation d'une extravasation de produit de contraste au sein de l'hématome), ou certaines caractéristiques sur le scanner en contraste spontané (telles que des densités hétérogènes au sein de l'hématome ou des irrégularités de ses contours ^[17]), peuvent aider à identifier les patients présentant un risque accru d'expansion de l'hémorragie cérébrale.

Ces marqueurs pourraient influencer le triage, la surveillance et le pronostic des patients. L'AHA/ASA recommande d'identifier ces marqueurs d'expansion et incite à la répétition de l'imagerie pour rechercher une expansion de l'hémorragie cérébrale ou l'apparition d'une hydrocéphalie, d'un œdème cérébral ou d'un engagement, en particulier chez les patients dont l'état neurologique se détériore ou ayant un score de Glasgow bas ^[20].

Figure 3. Scanners sans injection montrant une expansion d'une hémorragie cérébrale.



L'imagerie cérébrale joue également un rôle clé dans l'identification de l'étiologie de l'hémorragie cérébrale. L'identification rapide d'une cause secondaire de l'hémorragie cérébrale peut influencer les stratégies de traitement aigu et préventif ainsi que le pronostic. L'AHA/ASA incite à la réalisation d'un angioscanner artériel voire veineux chez les patients de moins de 70 ans ayant une hémorragie cérébrale spontanée lobaire, les patients de moins de 45 ans ayant une hémorragie cérébrale spontanée profonde ou de la fosse postérieure, et les patients de 45 à 70 ans ayant une hémorragie cérébrale spontanée profonde ou de la fosse postérieure sans antécédent d'hypertension artérielle, pour rechercher une cause macrovasculaire ou une thrombose veineuse cérébrale ^[21].

L'imagerie cérébrale est donc essentielle pour évaluer les situations critiques, établir le pronostic et guider le traitement.

1.2.2 Techniques d'imagerie de l'hémorragie cérébrale

Le scanner cérébral sans injection est une technique d'imagerie rapide ayant une excellente sensibilité pour diagnostiquer un saignement intracrânien récent. Compte tenu de sa grande disponibilité, il est considéré comme l'examen de référence pour le diagnostic de l'hémorragie cérébrale à sa phase aiguë ^[21].

Il joue un rôle pronostic via la recherche de marqueurs d'expansion de l'hémorragie cérébrale. Le volume de l'hémorragie cérébrale est également un facteur pronostic important [22], rapidement estimé sur le scanner sans injection [22,23].

Il fournit d'autres éléments utiles tels que la présence d'une inondation ventriculaire, d'une hydrocéphalie, d'un œdème cérébral ou d'un engagement.

L'angioscanner cérébral est la technique d'imagerie non invasive la plus largement disponible pour la détection des causes secondaires de l'hémorragie cérébrale, notamment vasculaires. Réalisé à la phase aiguë de l'hémorragie cérébrale, il permet de rechercher une malformation vasculaire avec une sensibilité de plus de 95%, une spécificité proche de 100% et des valeurs prédictives positives et négatives supérieures à 97% [24]. Il joue également un rôle pronostic car il permet d'identifier les patients à risque d'expansion de l'hémorragie cérébrale via la recherche d'un « spot sign » [25].

L'IRM est une alternative à la tomodensitométrie pour le diagnostic de l'hémorragie cérébrale.

En France, elle est fréquemment réalisée à la phase aiguë de l'AVC, incluant au minimum des séquences diffusion, FLAIR, T2* et angio-IRM (ARM) Time of Flight (TOF), permettant de diagnostiquer une ischémie cérébrale avec une meilleure sensibilité que la tomodensitométrie.

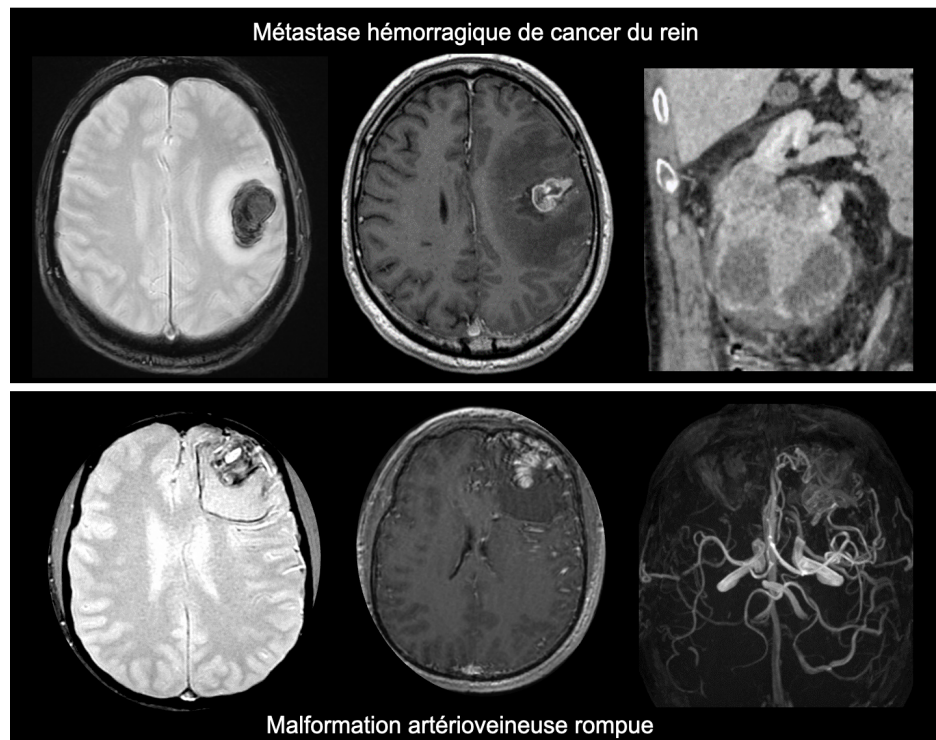
Elle est aussi sensible que le scanner sans injection pour le diagnostic de l'hémorragie cérébrale à sa phase aiguë [24], et plus sensible pour son diagnostic à sa phase subaiguë ou tardive.

Elle permet d'horodater l'hémorragie cérébrale, dont le signal varie au cours du temps et est déterminé par les effets paramagnétiques des produits de dégradation de l'hémoglobine, l'intensité du champ magnétique et la séquence d'impulsions utilisée.

L'IRM est une technique d'imagerie très performante pour détecter les causes secondaires de l'hémorragie cérébrale (Voir Figure 4). C'est un outil clé pour le diagnostic de transformation hémorragique d'un AVC ischémique. Il s'agit de la modalité radiologique la plus sensible et la plus spécifique pour détecter les cavernomes, notamment grâce à l'imagerie pondérée en T2. Elle présente un taux de diagnostic élevé des malformations vasculaires, notamment à l'aide de l'ARM TOF ou encore de l'ARM dynamique 3D telle que la séquence Tricks. L'IRM est l'outil le plus

sensible pour détecter une thrombose veineuse cérébrale, en particulier grâce à l'ARM veineuse avec injection de gadolinium. Enfin, elle permet d'orienter vers des causes néoplasiques, en particulier via la réalisation de séquences T1 avec injection de gadolinium.

Figure 4. Exemple d'hémorragies "secondaires".



L'artériographie cérébrale est l'examen de référence pour le diagnostic des malformations vasculaires cérébrales. L'angiographie par soustraction numérique est une technique d'imagerie neurovasculaire invasive utilisée non seulement pour le diagnostic mais aussi pour la prise en charge thérapeutique des malformations telles que les anévrysmes, les MAV ou les FAV.

Elle repose sur l'injection d'un agent de contraste iodé radio-opaque par cathétérisme du vaisseau d'intérêt et sur l'obtention d'une séquence d'images radiographiques montrant le flux de l'agent de contraste dans le système vasculaire, fournissant ainsi une cartographie détaillée de l'arbre artériel distal par rapport au point d'injection.

Elle est recommandée pour évaluer les lésions structurales sous-jacentes de l'hémorragie cérébrale, y compris les malformations vasculaires et les tumeurs, en cas de suspicion clinique ou radiologique.

1.2.3 Choix des techniques et protocoles d'imagerie

Les patients présentant un tableau d'AVC aigu doivent avoir un accès prioritaire à l'imagerie cérébrale [21,26]. Des protocoles de prise en charge de ces patients doivent être formalisés et contractualisés entre le service les accueillant et le service de radiologie. Quelle que soit la technique d'imagerie utilisée, l'examen doit être rapide, durant entre 10 et 20 minutes, et disponible 24 heures/24 à proximité du lieu de prise en charge du patient afin de ne pas retarder un potentiel traitement par thrombolytique intraveineux.

L'IRM est l'examen le plus performant pour montrer précocement des signes d'ischémie récente et elle visualise l'hémorragie cérébrale. Il convient donc de la réaliser de façon privilégiée [27].

L'accès à l'IRM en urgence n'est cependant pas toujours possible sur tout le territoire français, notamment en raison de son coût. De plus, la réalisation de l'IRM nécessite que le patient soit stable et coopérant, ce qui n'est pas toujours le cas dans le contexte d'AVC aigu. Enfin, l'IRM présente plusieurs contre-indications, telle que la claustrophobie ou la présence d'un pacemaker ou d'un défibrillateur cardiaque. De ce fait, la présence de ces facteurs liés au patient (instabilité clinique, contre-indications) ou à l'hôpital (disponibilité de l'IRM) peuvent rendre l'obtention d'une IRM impossible dans un contexte aigu. Il convient alors de réaliser un scanner cérébral.

Les protocoles d'imagerie de l'hémorragie cérébrale à la phase aiguë ne sont pas standardisés, entraînant des pratiques diverses. Une fois le diagnostic d'hémorragie cérébrale établi par le scanner sans injection ou l'IRM, le choix de la réalisation d'un angioscanner ou d'une ARM repose sur une combinaison de données, en particulier l'âge et les antécédents du patient ainsi que de la localisation de l'hémorragie à l'imagerie. La synthèse de ces éléments peut conduire à la poursuite de l'examen par une imagerie vasculaire, artérielle ou veineuse, ou une imagerie parenchymateuse avec injection, ou peut induire la décision de ne pas réaliser d'imagerie supplémentaire, en particulier si l'on suspecte une hémorragie d'origine hypertensive.

1.2.4 Influence du protocole d'imagerie sur l'identification d'une cause secondaire

L'hémorragie cérébrale est une urgence médicale nécessitant une prise en charge précoce car une détérioration clinique est fréquente dans les premières heures suivant l'apparition de l'hémorragie cérébrale.

L'imagerie permet d'établir rapidement le diagnostic et de rechercher l'étiologie de l'hémorragie cérébrale, étape clé pour la prise en charge aiguë et pour la prévention d'un nouveau saignement. Ainsi, en cas de cause secondaire suspectée, l'angioscanner ou l'ARM peuvent être utilisés pour dépister des anomalies vasculaires telles que des anévrismes intracrâniens, des malformations artérioveineuses ou des fistules artérioveineuses, nécessitant une prise en charge urgente et ayant un pronostic plus sévère en l'absence de traitement.

A la phase aiguë de l'hémorragie cérébrale, l'absence de réalisation d'imagerie vasculaire artérielle voire veineuse ou parenchymateuse, en particulier chez les patients jeunes, présentant une hémorragie spontanée lobaire, sans antécédent d'hypertension artérielle, peut conduire à une absence de diagnostic précoce d'une cause secondaire et constitue alors une réelle perte de chance pour le patient.

Il est donc essentiel de se familiariser avec les présentations démographiques et les résultats d'imagerie les plus couramment associés aux causes secondaires de l'hémorragie cérébrale afin de réaliser un protocole d'imagerie adapté à la situation.

1.2.5 Introduction aux réseaux de téléimagerie et à leur rôle dans l'imagerie des AVC

La téléimagerie est une branche de la télé médecine, permettant la réalisation d'actes d'imagerie médicale à distance, grâce aux technologies de l'information et de la communication. Elle vise à garantir, indépendamment de la localisation du patient, un accès à des examens d'imagerie et à l'expertise radiologique, enrichissant ainsi l'offre de soins par la mise en réseau des services demandeurs et des radiologues distants. Ce domaine a gagné en priorité dans le secteur de la télé médecine, particulièrement avec l'accroissement de la demande sur les équipements avancés et la réduction des effectifs médicaux due à l'introduction du numerus clausus en 1972. Ce déclin démographique médical touche surtout les régions rurales. Ainsi, la téléimagerie est

apparue comme une solution viable pour assurer la continuité des soins dans ces régions ^[28].

La téléimagerie, combinée avec la « télé-AVC » – un concept introduit par Levine et Gorman en 1999 ^[29] – permet l'utilisation de la télé médecine pour offrir des consultations neurologiques en cas d'AVC dans les hôpitaux manquant de cette expertise. Depuis la fin des années 1990, divers projets de télé-AVC ont vu le jour à travers le monde, optimisant ainsi la gestion des AVC, surtout dans les pays occidentaux.

La rapidité d'interprétation des examens par un radiologue, via la téléimagerie, permet de sélectionner efficacement les patients nécessitant un transfert urgent pour des interventions telles que la thrombolyse, la thrombectomie, ou une combinaison des deux, dans un centre spécialisé. Le neurologue peut intervenir via téléconsultation, créant ainsi, avec le télé radiologue, un réseau multidisciplinaire de télé médecine ^[30]. Plusieurs études attestent d'une augmentation des taux de thrombolyse post-implémentation de la télé-AVC, sans compromettre la sécurité ou l'efficacité ^[30].

Des structures de téléimagerie, telles qu'IMADIS, ont développé de vastes réseaux incluant des centres non spécialisés en AVC. IMADIS, société indépendante de téléimagerie fondée en 2009, opère dans plusieurs centres de télé radiologie, permettant de centraliser l'interprétation des examens urgents pour une centaine d'hôpitaux français pendant les périodes de permanence des soins. Ce réseau procure une opportunité unique d'évaluer les pratiques d'imagerie des hémorragies cérébrales à grande échelle, y compris dans les centres souvent omis du circuit universitaire.

1.3 RATIONNEL DE L'ETUDE

L'une des pistes pour améliorer le pronostic de l'hémorragie cérébrale serait d'optimiser la détection de ses causes secondaires potentiellement traitables. Cette détection passe avant tout par une optimisation de l'imagerie dès la phase aiguë.

Or, la prévalence des causes secondaires de l'hémorragie cérébrale spontanée est mal connue, et la plupart des séries réalisées présentent des biais d'effet-centre, des biais de mémorisation et d'autres facteurs confondants mal pris en compte. Les données en population sont rares et ne permettent pas d'analyser la prévalence des

causes secondaires de manière fiable car elles n'intègrent pas la méthode d'exploration en imagerie.

En l'absence de données claires, les recommandations de pratique restent basées sur des consensus d'experts et les modalités optimales d'imagerie à la phase aiguë de l'hémorragie cérébrale demeurent incertaines, résultant en une hétérogénéité vraisemblable mais non explorée à ce jour.

Par une analyse rétrospective de données fortement multicentriques issues majoritairement de centres hospitaliers de proximité, nous souhaiterions aborder ces questions dans un jeu de données peu biaisé.

2 OBJECTIF DE L'ETUDE

A travers une étude rétrospective utilisant les données de la filière « Alerte AVC » du réseau de téléimagerie IMADIS, nous avons cherché à évaluer les protocoles d'imagerie réalisés à la phase aiguë de l'hémorragie cérébrale et la proportion de patients diagnostiqués dès la phase aiguë d'une hémorragie secondaire.

3 INTRODUCTION DE L'ARTICLE

Stroke remains a pressing global health concern ^[9], with imaging playing a pivotal role in its diagnosis, prognosis evaluation, and treatment guidance.

Spontaneous cerebral hemorrhage, accounting for 10-20% of all strokes, is the second most common subtype after cerebral ischemia. It is a devastating form of stroke, with a poor prognosis, high mortality, and long-term morbidity.

Proper cerebral imaging promptly identifies "secondary" causes of intracerebral hemorrhage (ICH) – those with a discernible and often treatable origin. Without treatment, these causes can lead to a more severe prognosis ^[2].

However, imaging protocols for cerebral hemorrhages remain non-standardized, leading to diverse practices across various medical settings. The current consensus lacks clear guidelines concerning imaging modality, sequence protocols, or the use of contrast media, primarily due to the absence of high-level data ^[21].

Tele-imaging networks have recently emerged as critical tools to ensure continuity of care ^[28]. These networks connect a wide range of non-expert centers, which often treat patients suspected of having acute strokes or diagnosed with cerebral hemorrhages. Such a network offers a unique opportunity to evaluate imaging practices for intracerebral hemorrhage on a large scale, particularly in centers typically overlooked in academic studies.

This retrospective analysis, drawing upon data from the IMADIS tele-imaging network with over 100 corresponding centers, seeks to examine the imaging protocols used during the acute phase of intracerebral hemorrhage and ascertain the proportion of patients diagnosed with secondary hemorrhage.

4 PATIENTS AND METHODS

4.1 STUDY DESIGN

We conducted a multicenter retrospective observational study across hospitals affiliated with IMADIS. Data were extracted from the IMADIS Data & Science Division, spanning March 1st, 2021 to April 30th, 2023. This period corresponds to the deployment of the ITIS tool, that standardized IMADIS processes for imaging patients with a suspected stroke.

4.2 INCLUSION AND EXCLUSION CRITERIA

Consecutive patients managed by the IMADIS tele-imaging network for suspected acute stroke, incorporated in the stroke pathway via the ITIS platform, were included in the Stroke workflow. Exclusions encompassed cases where symptom onset exceeded 24 hours or without data about delay, individuals aged below 18 years, re-evaluation examinations, and patients in a partner center that did not allow the reuse of data.

4.3 VARIABLES OF INTEREST

The following variables were assessed:

1. **Hospital-related:** Presence of a neurovascular unit in partner center, and case volume determined by the volume of emergency room visits each year.
2. **Patients' demographic data:** Including age and gender.
3. **Temporal data:** Capturing both the onset of neurological symptoms, or last known well, and timestamp of the first image receipt.
4. **Imaging protocols:** Detailed including the specific modality – either computed tomography (CT) or magnetic resonance imaging (MRI). For CT, the study cataloged the application of injections, including CT angiography (CTA), CT venography (CTV) and post-contrast CT. MRI-related variables encompassed sequences, highlighted by 3D Time of Flight (TOF) MR angiography (MRA), gadolinium (Gd)-enhanced MRA, Gd-enhanced T1-weighted imaging (WI).

5. **Diagnostic outcomes:** Distinctions between cerebral hemorrhage and ischemia, and a categorization of secondary etiologies for cerebral hemorrhages, where relevant. The secondary etiologies were classified as follow per the reports' conclusions: aneurysm, arteriovenous malformation (AVM), cavernous malformation, dural fistula, pial fistula, stroke with secondary hemorrhage, venous thrombosis, primary tumor, secondary tumor.

Using the "stringr" package in tandem with imaging reports, protocols were converted into a binary (executed/not executed) schema for imaging procedures. Specifically, reports denoting cerebral hemorrhage underwent rigorous review by radiologists from both IMADIS (BD, GG, JB) and Tours University Hospital (GB, RM). The aim was categorization based on detection of secondary causes and identification of specific etiologies.

4.4 DATA VALIDATION AND RELIABILITY

To ensure rigorous data validity, the research was anchored in a retrospective observational methodology, deemed suitable for examining imaging practices. The data were sourced from a vast tele-imaging network, ensuring a large and representative sample.

Reliability measures included standardized data acquisition conditions and a uniform application of methodologies. Observer discretion was minimized through the deployment of a predetermined coding grid.

4.5 STUDY ENDPOINTS

We assessed the differences in baseline variables as well as imaging protocols in patients that received a final diagnosis of ICH, versus ischemic, and versus other diagnoses. Similarly, we assessed the differences in these variables in patients with a final diagnosis of ICH, that were found to have a secondary vs primary cause of ICH.

4.6 ETHICS

Data, originally procured for healthcare operations, were repurposed for research in a fully anonymized format. This database is earmarked for a two-year retention post the last publication. All participants had been previously informed of potential data reuse, as articulated in tele-imaging consent documents.

Ethical clearances were secured prior to study commencement, with approvals from the Medical Imaging Research Ethics Committee in place (CRM-2303-351, July 27th, 2023).

4.7 STATISTICAL ANALYSIS

Statistical analyses were performed with R (v4.1.0, The R foundation for statistical computing, Vienna, Austria). All tests were two-tailed. A P-value less than 0.05 was deemed significant.

4.7.1 Descriptive statistics

Numeric variables were described as mean, standard deviation, median, interquartile range and range.

4.7.2 Associations with the main imaging findings in the entire cohort (i.e. ischemic stroke, hematoma and other)

Univariable tests comprised the Chi-square test (for associations with categorical variables), and the Kruskal-Wallis test (for associations with numeric variables, after verifying their non-normality thanks to the D'Agostino Pearson test) complemented with unpaired Wilcoxon test post-hoc test for pairwise comparisons (with adjustment according to Bonferroni correction for multiple comparisons).

4.7.3 Other associations

For the assessment of associations with performing CT or MRI vascular imaging and suspected or proved secondary hematoma on the initial imaging, we first performed univariable tests, namely: unpaired Wilcoxon test for numeric variable (after verifying their non-normality thanks to the Shapiro-Wilk normality test [more appropriate for less

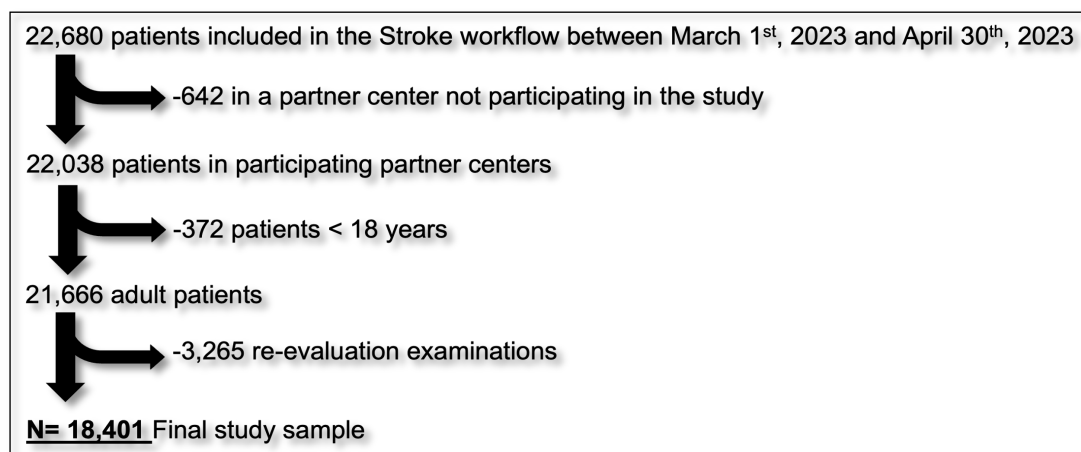
than 5,000 observations]) and Chi-square test for categorical variables. Univariable odds ratio (OR) with their 95% confidence interval (CI) were estimated using univariable binary logistic regression. We then performed multivariable logistic regressions to identify independent predictors of performing any vascular imaging and finding (or suspecting) a secondary hematoma.

5 RESULTS

5.1 STUDY SAMPLE

A total of 22,680 patients were captured in the IMADIS database during the study period and included in the Stroke workflow within 24 hours of symptoms onset. We excluded 642 patients admitted to a center not participating in the study, 372 patients aged below 18 years and 3,265 re-evaluation examinations. Patients' selection is summarized in the flow chart (Figure 5). The research integrated a total of 104 hospitals exhibiting a cumulative data intake, and imaging reports from 438 radiologists.

Figure 5. Flow chart of study sample inclusions and exclusions



Of the 18,401 patients finally included, 2,422 patients (13.2%) were diagnosed with cerebral ischemia, 756 patients (4.1%) with ICH, and 15,223 patients (82.7%) with another cause, i.e. stroke mimics.

5.2 CHARACTERISTICS ASSOCIATED WITH THE MAIN DIAGNOSES IN THE STROKE WORKFLOW

Detailed demographic and event related data are presented in Table 2, in the entire sample as well as in patients with ischemic stroke, intracerebral hemorrhage and those with other final diagnoses. Patients with ICH did not differ from patients with ischemic stroke in terms of age at ictus (mean $\pm$ 73.4 $\pm$ SD 14.2 versus 73.7 $\pm$ 14.7), or sex.

Table 2: Characteristics associated with the main diagnoses in the Stroke workflow.

Characteristics	All patients (N = 18,401)	Stroke (n = 2422)	ICH (n = 756)	Other / stroke mimics (n = 15,223)	Overall P-value	Stroke vs ICH P-value
Sex					0.0002	0.7774
Men	8997/18392 (48.9)	1269/2422 (52.4)	391/756 (51.7)	7337/15214 (48.2)		
Women	9395/18392 (51.1)	1153/2422 (47.6)	365/756 (48.3)	7877/15214 (51.8)		
Age (years, continuous)					<0.0001	0.5510
Median [Q1-Q3] (range)	73 [60 - 84] (18 - 120)	76 [65-85] (18-120)	75 [64-85] (19-100)	73 [58-83] (18-120)		
Mean $\pm$ SD	69.9 $\pm$ 17.4	73.7 $\pm$ 14.7	73.4 $\pm$ 14.2	69.1 $\pm$ 17.9		
Age groups					<0.0001	0.9382
< 50 years	2555/18401 (13.9)	180/2422 (7.4)	53/756 (7)	2322/15223 (15.3)		
50 - 64 years	3374/18401 (18.3)	407/2422 (16.8)	137/756 (18.1)	2830/15223 (18.6)		
65-74y	3911/18401 (21.3)	540/2422 (22.3)	167/756 (22.1)	3204/15223 (21)		
75-84y	4390/18401 (23.9)	657/2422 (27.1)	201/756 (26.6)	3532/15223 (23.2)		
$\geq$ 85y	4171/18401 (22.7)	638/2422 (26.3)	198/756 (26.2)	3335/15223 (21.9)		
Delay since symptoms beginning (hours)					<0.0001	0.0002
Median [Q1-Q3] (range)	8.1 [5.5 - 20.5] (0.8 - 24)	7.0 [5.4-13.8] (0.8-24)	6.6 [5.01-9.4] (0.8-23.8)	8.4 [5.6-21.1] (0.8-24)		
Mean $\pm$ SD	11.6 $\pm$ 7.9	10.2 $\pm$ 7.2	9.1 $\pm$ 6.6	11.9 $\pm$ 8.0		
Neurovascular unit in partner center					<0.0001	<0.0001
No	8157/18401 (44.3)	841/2422 (34.7)	328/756 (43.4)	6988/15223 (45.9)		
Yes	10244/18401 (55.7)	1581/2422 (65.3)	428/756 (56.6)	8235/15223 (54.1)		
No. of emergency admission each year in partner center					<0.0001	0.0004
Median [Q1-Q3] (range)	37,000 [21,500 - 47,013] (950 - 80,300)	39,785 [25,185-47,013] (950-80,300)	37,000 [21,535-47,013] (2,482-80,300)	35,000 [21,500-47,013] (950-80,300)		
Mean $\pm$ SD	36,339.6 $\pm$ 18,804.7	38,343.9 $\pm$ 18,681.0	35,449.4 $\pm$ 18,957.3	36,065.5 $\pm$ 18,797.9		

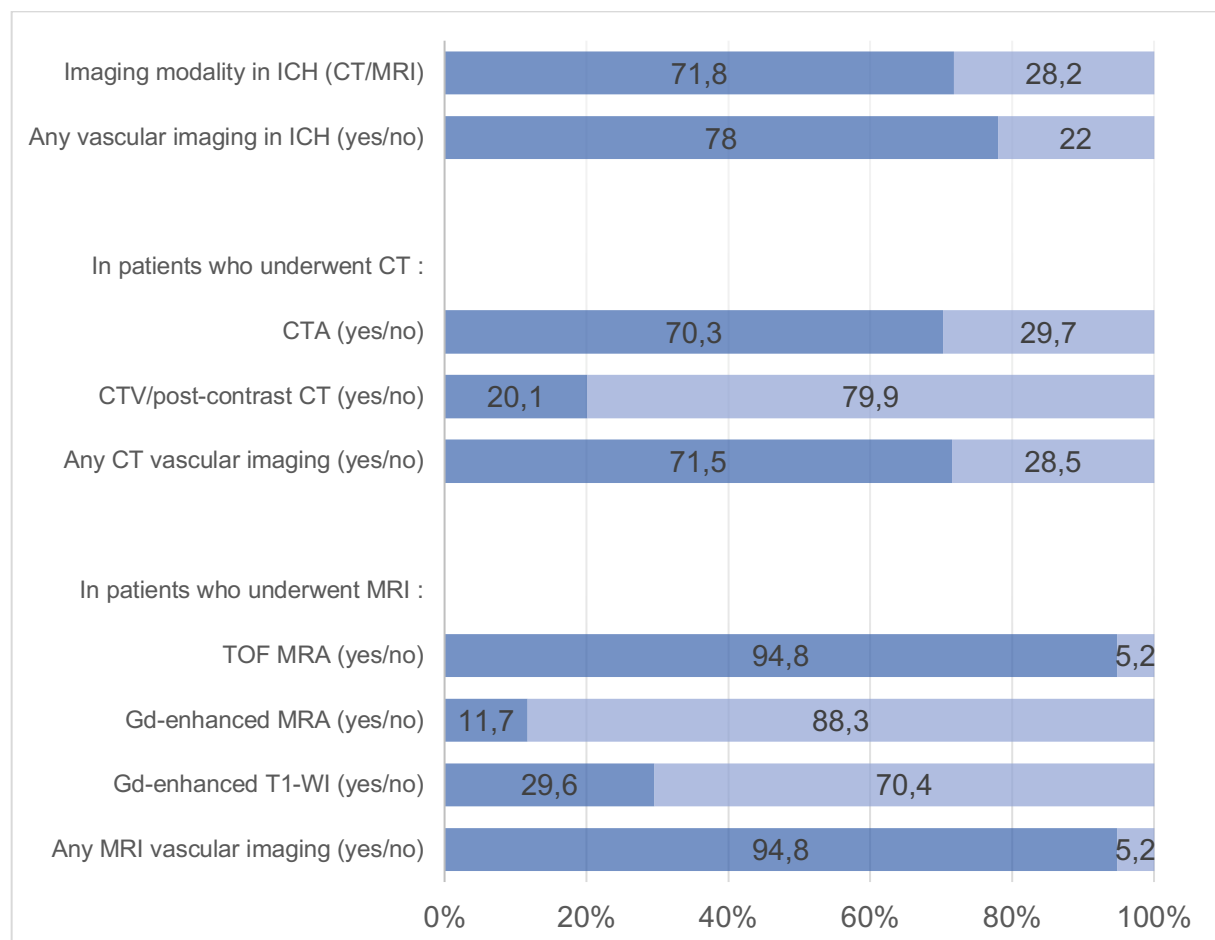
Legend: For numeric variables, data are median with Q1-Q3 range and min-max range, and mean $\pm$ standard deviation (SD). For numeric variables, overall tests are Kruskal-Wallis tests (after checking the lack of normality with D'Agostino Pearson tests), and post-hoc tests are Wilcoxon test with adjustment based on Benjamini-Hochberg comparisons for multiple testing. For categorical variables, tests are Chi-square tests. Abbreviations: ICH: intracerebral hemorrhage, TOF: time of flight, WI: weighted imaging.

5.3 IMAGING MODALITIES AND PROTOCOLS ASSOCIATED WITH ICH

Cerebral CT was the most widely performed imaging modality in the acute phase of ICH, in **71.8%** of patients compared with **28.2%** for MRI, as shown in Figure 6.

Protocol often included vascular imaging, either by CT or MRI, in **78%** of patients with ICH. Indeed, in patients who underwent CT, any CT vascular imaging was performed in 71.5% of them (CTA in 70.3% of patients, CTV or post-contrast CT in 20.1% of patients.) As for patients who underwent MRI, any MRI vascular imaging was performed in 94.8% of them (TOF MRA in 94.8% of patients, Gd-enhanced MRA in 11.7% of patients, Gd-enhanced T1-WI in 29.6% of patients).

Figure 6. Imaging modalities and protocols in patients with ICH.



5.4 CHARACTERISTICS ASSOCIATED WITH VASCULAR IMAGING IN PATIENTS WITH ICH

Regarding demographic variables, patients who had vascular imaging were significantly younger than patients without vascular imaging performed (univariable analysis: OR = 0.94, 95% CI = 0.93-0.96, $p < 0.0001$). There was no significant difference in vascular imaging between men and women.

No significant correlation was found between vascular imaging and hospital-related variables, notably between vascular imaging and presence of a neurovascular unit in the partner center.

Vascular imaging was performed in patients with significantly earlier onset of symptoms (univariable analysis: OR = 0.94, 95% CI = 0.92-0.97, $p < 0.0001$).

A significantly higher proportion of vascular imaging was performed in MRI than in CT (multivariable analysis: OR = 5.86, 95% CI = 3.15-11.95, $p < 0.0001$).

These characteristics are summarized in Table 3.

Table 3. Characteristics associated with any vascular imaging in patients with ICH.

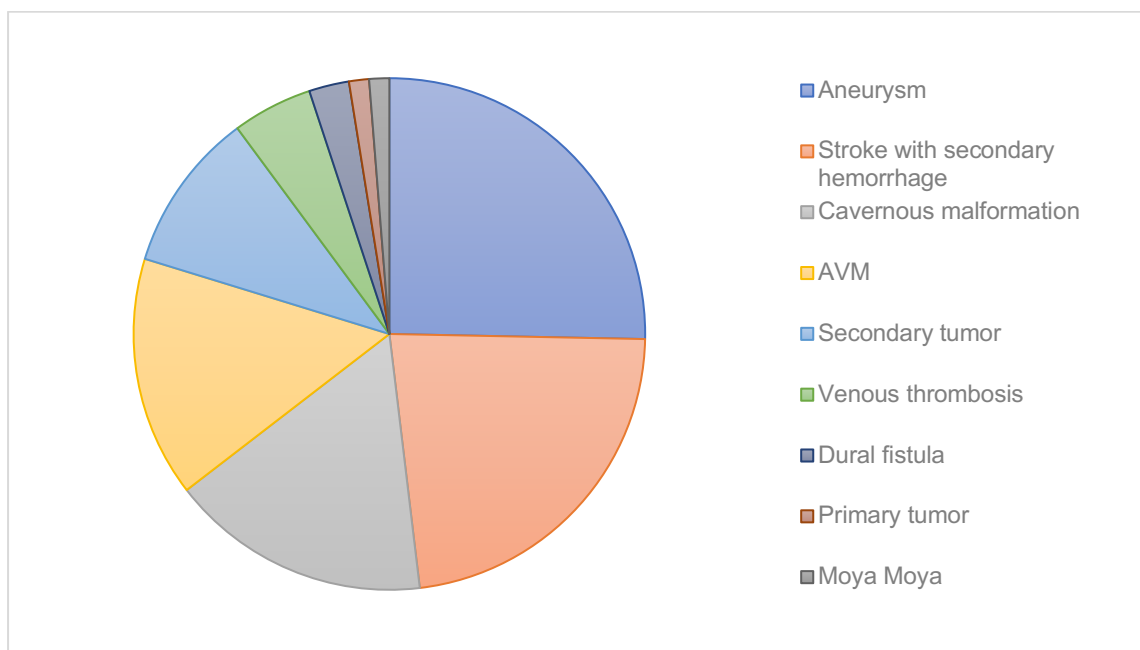
Characteristics	NO vascular imaging	Vascular imaging	P-value
Sex			0.2639
Men	79/166 (47.6)	312/590 (52.9)	
Women	87/166 (52.4)	278/590 (47.1)	
Age (years, continuous)			<0.0001
Median [Q1-Q3] (range)	84 [75 - 89.8] (40 - 99)	73 [62 - 83] (19 - 100)	
Mean $\pm$ SD	80.8 $\pm$ 11.8	71.3 $\pm$ 14.2	
Delay since symptoms beginning (hours)			0.0214
Median [Q1-Q3] (range)	6.9 [5.1 - 21.9] (2.2 - 23.8)	6.4 [5.1 - 8.8] (0.8 - 23.8)	
Mean $\pm$ SD	11.3 $\pm$ 8.2	8.5 $\pm$ 5.9	
Neurovascular unit in partner center			0.7874
No	70/166 (42.2)	258/590 (43.7)	
Yes	96/166 (57.8)	332/590 (56.3)	
Imaging modality			<0.0001
CT	155/166 (93.4)	388/590 (65.8)	
MRI	11/166 (6.6)	202/590 (34.2)	

5.5 SECONDARY CAUSES OF ICH

A total of 76 secondary ICH out of 756 ICH (**10.1%**) have been diagnosed.

These secondary causes of cerebral hemorrhage were, in descending order (See Figure 7): aneurysm (20/76, 26.3%), stroke with secondary hemorrhage (18/76, 23.7%), cavernous malformation (13/76, 17.1%) and AVM (12/76, 15.8%), secondary tumor (8/76, 10.5%), venous thrombosis (4/76, 5.3%), dural AVF (2/76, 2.6%), primary tumor (1/76, 1.3%) and other (Moya Moya) (1/76, 1.3%).

Figure 7. Distribution of etiologies of ICH in patients with ICH.



5.6 CHARACTERISTICS ASSOCIATED WITH SECONDARY ICH IN PATIENTS WITH ICH

Regarding the demographic, hospital-related and temporal variables, the only significant correlation found was between secondary ICH and age. Indeed, patients with secondary ICH were significantly younger than patients with “primary” ICH (univariable analysis: OR = 0.96, 95% CI = 0.94-0.9, $p < 0.0001$), as shown in Table 4.

Table 4. Characteristics associated with secondary ICH in patients with ICH.

Characteristics	NO secondary ICH	Secondary ICH	P-value
Sex			0.1599
Men	358/680 (52.6)	33/76 (43.4)	
Women	322/680 (47.4)	43/76 (56.6)	
Age (years, continuous)			<0.0001
Median [Q1-Q3] (range)	77 [66 - 85] (30 - 100)	68 [55.2 - 75] (19 - 94)	
Mean $\pm$ SD	74.3 $\pm$ 13.7	65 $\pm$ 16.4	
Age groups			<0.0001
< 50 years	42/680 (6.2)	11/76 (14.5)	
50 - 64 years	114/680 (16.8)	23/76 (30.3)	
65-74y	146/680 (21.5)	21/76 (27.6)	
75-84y	188/680 (27.6)	13/76 (17.1)	
$\geq$ 85y	190/680 (27.9)	8/76 (10.5)	
Delay since symptoms beginning (h)			0.1911
Median [Q1-Q3] (range)	6.6 [5.1 - 9.4] (0.8 - 23.8)	6 [4.9 - 9.1] (0.8 - 23.8)	
Mean $\pm$ SD	9.2 $\pm$ 6.6	8.4 $\pm$ 6.2	
Neurovascular unit in partner center			>0.9999
No	295/680 (43.4)	33/76 (43.4)	
Yes	385/680 (56.6)	43/76 (56.6)	
No. of emergency admission each year in partner center			0.4590
Median [Q1-Q3] (range)	37000 [21500 - 47013] (2482 - 80300)	38690 [24820 - 47013] (2482 - 80300)	
Mean $\pm$ SD	35278.6 $\pm$ 18761	36977.2 $\pm$ 20701.7	

5.7 IMAGING MODALITIES AND PROTOCOLS ASSOCIATED WITH SECONDARY ICH DIAGNOSIS

There was no significant difference between the use of CT or MRI in secondary ICH.

Vascular imaging was highly correlated with secondary ICH (multivariable analysis: OR = 4.24, 95% CI = 1.65-14.42, p = 0.0074) (See Table 5).

Secondary ICH was more often diagnosed when post-contrast CT/CTV (univariable analysis: OR = 2.57, 95% CI = 1.46-4.4, p = 0.0008) or Gd-enhanced T1-WI (univariable analysis: OR = 2.91, 95% CI = 1.47-5.44, p = 0.0013) had been performed.

Table 5. Imaging modalities and protocols in secondary ICH.

Characteristics	NO secondary	Secondary	P-value
Imaging modality			0.2718
CT	493/680 (72.5)	50/76 (65.8)	
MRI	187/680 (27.5)	26/76 (34.2)	
Any vascular imaging			0.0004
No	162/680 (23.8)	4/76 (5.3)	
Yes	518/680 (76.2)	72/76 (94.7)	
CT-angiography (arterial)			0.0860
Yes	336/680 (49.4)	46/76 (60.5)	
No	344/680 (50.6)	30/76 (39.5)	
CTV/post-contrast CT			0.0011
Yes	88/680 (12.9)	21/76 (27.6)	
No	592/680 (87.1)	55/76 (72.4)	
Any CT vascular imaging			0.0697
Yes	341/680 (50.1)	47/76 (61.8)	
No	339/680 (49.9)	29/76 (38.2)	
TOF MR-angiography			0.2517
Yes	177/680 (26)	25/76 (32.9)	
No	503/680 (74)	51/76 (67.1)	
Gd-enhanced MR-angiography			>0.9999
Yes	22/680 (3.2)	3/76 (3.9)	
No	658/680 (96.8)	73/76 (96.1)	
Gd-enhanced T1-WI			0.0017
Yes	49/680 (7.2)	14/76 (18.4)	
No	631/680 (92.8)	62/76 (81.6)	
Any MRI vascular imaging			0.2517
Yes	177/680 (26)	25/76 (32.9)	
No	503/680 (74)	51/76 (67.1)	

6 DISCUSSION

In this large-scale retrospective analysis including 18,000+ patients, we have provided several key insights into acute stroke imaging pathways and practices at over a hundred nonacademic centers using a tele-imaging network. We also unveiled previously unreported imaging practices for patients acutely diagnosed with ICH, and how different imaging protocols translated to varying rates of secondary ICH etiology identification.

The first noteworthy finding of this study is the minimal frequency of definitive diagnosis of ischemic or hemorrhagic stroke after the first evaluation. A staggering 82.7% of the cases in the sample involved differential diagnoses, even though patients were included in a specialized tele-imaging pathway for stroke. This percentage is remarkably elevated compared to other findings in existing literature. For example, a review of 61 studies by Pohl et al. ^[31] demonstrated that occurrences of stroke mimics were discovered in merely 24.8% of their proportion, which is less than one-third of our observed rate. A plausible rationale for this could be that the examinations in our investigation were conducted via teleradiology. This could have led to a higher number of imaging requests as there was no on-site radiologist to act as a “filter” or gatekeeper, potentially allowing for a more selective and judicious use or timing of imaging examinations. This observation could also be attributed to the broader accessibility and ease of use of teleradiology, potentially incentivizing more clinicians to resort to imaging examinations. This accessibility might intersect with an enhanced sense of vigilance among remote radiologists, who, aware of the intrinsic limitations of distanced clinical evaluations, may prefer an escalated rate of imaging to minimize the risk of diagnostic inaccuracies or oversights. This observed variability might also stem from low thresholds among healthcare providers at primary and secondary care hospitals in ordering emergent imaging studies for suspected stroke. Thus, while the absence of an on-site radiologist in a teleradiology setting might indeed prompt a surge in imaging requests, a confluence of these multifaceted factors could also explain this relative overuse of imaging in our study.

In a scientific context (distinct from the more complex clinical setting), the key concern revolves around the excessive deployment of evaluations and interventions of limited

benefit and, conversely, the insufficient application of beneficial and high-value diagnostic methods ^[32]. While the standards for high-value diagnostic evaluations in the context of stroke are clear and necessitate the prioritization of superior decision-making processes for both immediate and subsequent preventive measures^[33,34], it is crucial to underscore the balanced approach that should be fostered by quality improvement initiatives that recognize the intrinsic risks in both overuse and underuse. This finding is of key relevance for quality improvement in telestroke networks, ensuring that diagnostic evaluations are neither excessively utilized to the detriment of resource allocation and patient safety, nor underutilized to the risk of delaying stroke care ^[35,36].

Regarding modalities, when considering only patients diagnosed with stroke, our study found proportions of 23.8% (756/3178) of patients with cerebral hemorrhage and 76.2% (2422/3178) of cerebral ischemia. These proportions are consistent with current proportion estimates, roughly with rates of hemorrhagic stroke around 20% and ischemic stroke around 80% ^[9].

In evaluating the modalities employed for stroke diagnosis, our study delineates a noteworthy divergence in the final diagnoses when MRI or CT is used in this context. Specifically, when MRI was used, 16% of strokes were hemorrhagic, while using CT this proportion rose to almost the double (29,5%). These disparities in diagnostic proportion could be reflective of an imbalance in patient symptoms favoring MRI in certain clinical situations and CT in others. It may indeed be that patients with hemorrhagic stroke present with symptoms that are less equivocally attributable to stroke, than those with ischemic strokes and hence undergo immediate CT. Another plausible interpretation of this discrepancy could be the inherent variations in the diagnostic precision of the two modalities reflecting the lowest sensitivity of CT for smaller or posterior fossa ischemic strokes. The proportion of non-stroke diagnosis was indeed notably lower in patients investigated with MRI (68 vs 86%). Further, in most community hospital settings in France, CT is prevalently used as the principal imaging modality for acute stroke^[37,38] when MRI is mostly used at academic centers, a proportion echoed in our findings which may have shifted the results further.

In the context of our study, vascular imaging was performed in a reassuring proportion, with 78% of cases diagnosed with cerebral hemorrhage receiving any form of vascular exploration. Yet, it is important to clarify that the encompassed vascular imaging incorporates both non-contrast imaging modalities such as 3D TOF MRA and post-contrast imaging techniques like CTA or Gd-enhanced MRA. Since 3D TOF MRA is a fundamental component of the standardized protocol for acutely suspected (ischemic) stroke and is thus almost ubiquitously executed in contemporary practice^[39], this likely elevates the global rate of vascular imaging calculated in our study. Indeed, the utilization of vascular imaging was markedly lower in patients diagnosed with ICH via CT, at 71.5%, compared to those diagnosed using MRI, at 94.8%. Since vascular imaging is indispensable in identifying secondary vascular etiologies of ICH, the variation in its use potentially impacts the accuracy and thoroughness of the initial work up for these patients.

Current guidelines indicate the potential utility of CTA and contrast-enhanced CT in identifying patients at risk of hematoma expansion. A broader range of imaging modalities, from CTA to MRV, are suggested for exploring potential structural anomalies, such as vascular malformations or tumors, but only under circumstances of clinical or radiological suspicion (Class IIa; Level of Evidence: B) ^[16]. The vagueness of "clinical or radiological suspicion" imparts a considerable decision-making latitude to clinicians, introducing possible variability in the use and interpretation of vascular imaging, which might influence the precision of ICH diagnosis during its acute phase. Our study yielded significant associations between vascular imaging and the identification of secondary ICH. The multivariable analysis underscored a pronounced correlation with an OR of 4.24 ($p = 0.0074$). Further delineating this relationship, we observed that the probability of diagnosing secondary ICH rose substantially when post-contrast CT/CTV (OR = 2.57, $p = 0.0008$) or Gd-enhanced T1-WI (OR = 2.91, $p = 0.0013$) were employed. Additionally, a demographic distinction was evident: patients diagnosed with secondary ICH were notably younger than their counterparts diagnosed with primary ICH (OR = 0.96, $p < 0.0001$).

In light of these findings, there is an augmented imperative for integrating vascular imaging more consistently during the acute phase of ICH. While the benefits are clear, it is crucial to consider the balance between benefits and potential risks associated

with these imaging modalities. For instance, while contrast-induced nephropathy is a concern ^[40], its incidence remains relatively rare, and most patients do not experience severe sequelae. Additionally, while CTA does entail additional radiation exposure, advancements in imaging techniques are steadily reducing radiation doses, and the absolute increase in risk due to radiation is minimal. In contrast, the risks of missing a secondary etiology for ICH, particularly in younger patients, could have profound clinical implications, affecting both therapeutic strategies and prognosis. Given this risk-benefit balance, a more systematic approach to vascular imaging at the acute phase of ICH is supported by our findings, and may ensure that secondary etiologies are not overlooked, thereby refining patient care and outcomes.

While our findings advocate for more systematic vascular imaging in the acute phase of ICH, it is imperative to account for potential bias by indication. It is conceivable that clinicians, driven by specific clinical or radiological clues suggestive of a secondary etiology, were more inclined to order vascular imaging for certain patients. This would inherently increase the likelihood of identifying secondary ICH in those undergoing vascular imaging ^[41]. As such, the elevated rates of secondary ICH detection in our study could be a manifestation of this selection bias. Hence, while our results underscore the importance of vascular imaging in revealing secondary etiologies, we must interpret them with caution. A more nuanced approach, which considers individual patient characteristics and clinical presentations, may be necessary to avoid indiscriminate use of imaging and ensure judicious and cost-effective patient care.

7 CONCLUSION

Cerebral hemorrhage is a significant global health challenge, with potential secondary causes demanding prompt identification for optimal intervention.

Our study underscores the value of vascular imaging, via CT or MRI, in pinpointing these secondary causes. While younger patients are generally prioritized for vascular imaging based on guidelines, the approach for older individuals remains inconsistent. In light of the variability in imaging practices and the pivotal role of vascular imaging in detecting secondary hemorrhage, we advocate for standardization in imaging protocols and further research to assess the universality of this approach in cerebral hemorrhage patients.

8 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Béjot Y, Touzé E, Jacquin A, Giroud M, Mas JL. Épidémiologie des accidents vasculaires cérébraux. *médecine/sciences* 2009;25(8-9):727-32.
2. Intracerebral haemorrhage. *Nat Rev Dis Primer* 2023;9(1):1-1.
3. Magid-Bernstein J, Girard R, Polster S, Srinath A, Romanos S, Awad IA, et al. Cerebral Hemorrhage: Pathophysiology, Treatment, and Future Directions. *Circ Res* 2022;130(8):1204-29.
4. Ariesen MJ, Claus SP, Rinkel GJE, Algra A. Risk Factors for Intracerebral Hemorrhage in the General Population: A Systematic Review. *Stroke* 2003;34(8):2060-5.
5. Pasi M, Charidimou A, Boulouis G, Auriel E, Ayres A, Schwab KM, et al. Mixed-location cerebral hemorrhage/microbleeds: Underlying microangiopathy and recurrence risk. *Neurology* 2018;90(2):e119-26.
6. Inzitari D, Giordano GP, Ancona AL, Pracucci G, Mascalchi M, Amaducci L. Leukoaraiosis, intracerebral hemorrhage, and arterial hypertension. *Stroke J Cereb Circ* 1990;21(10):1419-23.
7. Charidimou A, Boulouis G, Frosch MP, Baron JC, Pasi M, Albucher JF, et al. The Boston criteria version 2.0 for cerebral amyloid angiopathy: a multicentre, retrospective, MRI-neuropathology diagnostic accuracy study. *Lancet Neurol* 2022;21(8):714-25.
8. Tabouret E, Bauchet L, Carpentier AF. Épidémiologie des métastases cérébrales et tropisme cérébral. *Bull Cancer (Paris)* 2013;100(1):57-62.
9. Feigin VL, Stark BA, Johnson CO, Roth GA, Bisignano C, Abady GG, et al. Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet Neurol* 2021;20(10):795-820.

10. Van Asch CJ, Luitse MJ, Rinkel GJ, Van Der Tweel I, Algra A, Klijn CJ. Incidence, case fatality, and functional outcome of intracerebral haemorrhage over time, according to age, sex, and ethnic origin: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Neurol* 2010;9(2):167-76.
11. Qureshi AI, Mendelow AD, Hanley DF. Intracerebral haemorrhage. *The Lancet* 2009;373(9675):1632-44.
12. Bejot Y, Cordonnier C, Durier J, Aboa-Eboule C, Rouaud O, Giroud M. Intracerebral haemorrhage profiles are changing: results from the Dijon population-based study. *Brain* 2013;136(2):658-64.
13. Qureshi AI, Tuhim S, Broderick JP, Batjer HH, Hondo H, Hanley DF. Spontaneous Intracerebral Hemorrhage. *N Engl J Med* 2001;344(19):1450-60.
14. Puy L. Intracerebral haemorrhage. *Nat Rev Dis Primer* 2023.
15. Parry-Jones AR, Sammut-Powell C, Paroutoglou K, Birleson E, Rowland J, Lee S, et al. An Intracerebral Hemorrhage Care Bundle Is Associated with Lower Case Fatality. *Ann Neurol* 2019;86(4):495-503.
16. Greenberg SM, Ziai WC, Cordonnier C, Dowlatshahi D, Francis B, Goldstein JN, et al. 2022 Guideline for the Management of Patients With Spontaneous Intracerebral Hemorrhage: A Guideline From the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke* [Internet] 2022 [cité 2022 nov 28];53(7). Available from: <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/STR.0000000000000407>
17. Boulouis G, Morotti A, Charidimou A, Dowlatshahi D, Goldstein JN. Noncontrast Computed Tomography Markers of Intracerebral Hemorrhage Expansion. *Stroke* 2017;48(4):1120-5.
18. Morotti A, Boulouis G, Dowlatshahi D, Li Q, Shamy M, Al-Shahi Salman R, et al. Intracerebral haemorrhage expansion: definitions, predictors, and prevention. *Lancet Neurol* 2023;22(2):159-71.

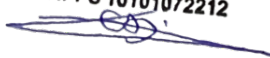
19. Morotti A, Boulouis G, Charidimou A, Schwab K, Kourkoulis C, Anderson CD, et al. Integration of Computed Tomographic Angiography Spot Sign and Noncontrast Computed Tomographic Hypodensities to Predict Hematoma Expansion. *Stroke* 2018;49(9):2067-73.
20. Morotti A, Dowlathshahi D, Boulouis G, Al-Ajlan F, Demchuk AM, Aviv RI, et al. Predicting Intracerebral Hemorrhage Expansion with non-contrast CT: The BAT Score. *Stroke* 2018;49(5):1163-9.
21. Greenberg SM, Ziai WC, Cordonnier C, Dowlathshahi D, Francis B, Goldstein JN, et al. 2022 Guideline for the Management of Patients With Spontaneous Intracerebral Hemorrhage: A Guideline From the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke* [Internet] 2022 [cité 2023 juill 12];53(7). Available from: <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/STR.0000000000000407>
22. Beslow LA, Ichord RN, Kasner SE, Mullen MT, Licht DJ, Smith SE, et al. ABC/XYZ Estimates Intracerebral Hemorrhage Volume as a Percent of Total Brain Volume in Children. *Stroke* 2010;41(4):691-4.
23. Falcone GJ, Biffi A, Brouwers HB, Anderson CD, Battey TWK, Ayres AM, et al. Predictors of Hematoma Volume in Deep and Lobar Supratentorial Intracerebral Hemorrhage. *JAMA Neurol* 2013;1-7.
24. Macellari F, Paciaroni M, Agnelli G, Caso V. Neuroimaging in Intracerebral Hemorrhage. *Stroke* 2014;45(3):903-8.
25. Wardlaw JM. Prediction of haematoma expansion with the CTA spot sign: a useful biomarker? *Lancet Neurol* 2012;11(4):294-5.
26. Turc G, Bhogal P, Fischer U, Khatri P, Lobotesis K, Mazighi M, et al. European Stroke Organisation (ESO) - European Society for Minimally Invasive Neurological Therapy (ESMINT) Guidelines on Mechanical Thrombectomy in Acute Ischemic Stroke. *J Neurointerventional Surg* 2023;15(8):e8.

27. Turc G, Maïer B, Naggara O, Seners P, Isabel C, Tisserand M, et al. Clinical Scales Do Not Reliably Identify Acute Ischemic Stroke Patients With Large-Artery Occlusion. *Stroke* 2016;STROKEAHA.116.013144.
28. Laghari FJ, Hammer MD. Telestroke Imaging: A Review. *J Neuroimaging Off J Am Soc Neuroimaging* 2017;27(1):16-22.
29. Levine SR, Gorman M. "Telestroke": The Application of Telemedicine for Stroke. *Stroke* 1999;30(2):464-9.
30. Carmen Jiménez M, Tur S, Legarda I, Vives B, Gorospe A, José Torres M, et al. [The application of telemedicine for stroke in the Balearic Islands: the Balearic Telestroke project]. *Rev Neurol* 2012;54(1):31-40.
31. Pohl M, Hesszenberger D, Kapus K, Meszaros J, Feher A, Varadi I, et al. Ischemic stroke mimics: A comprehensive review. *J Clin Neurosci* 2021;93:174-82.
32. Kjelle E, Andersen ER, Krokeide AM, Soril LJJ, van Bodegom-Vos L, Clement FM, et al. Characterizing and quantifying low-value diagnostic imaging internationally: a scoping review. *BMC Med Imaging* 2022;22(1):73.
33. Cabral Frade H, Wilson SE, Beckwith A, Powers WJ. Comparison of Outcomes of Ischemic Stroke Initially Imaged With Cranial Computed Tomography Alone vs Computed Tomography Plus Magnetic Resonance Imaging. *JAMA Netw Open* 2022;5(7):e2219416.
34. Campbell BCV. The Value of Diagnostic Imaging in Stroke—Are We Asking the Right Question? *JAMA Netw Open* 2022;5(7):e2223074.
35. Wallut L, Peyron C, Hervieu-Bègue M, Osseby GV, Giroud M, Legris N, et al. Efficiency of telemedicine for acute stroke: a cost-effectiveness analysis from a French pilot study. *Int J Technol Assess Health Care* 2020;36(2):126-32.
36. Majersik JJ, Wong KH, O'Donnell SM, Johnson J, Garcia-Esperon C, Hamilton BJ, et al. Telestroke value through the eyes of emergency medicine providers: A counterfactual analysis. *Heliyon* 2023;9(4):e14767.

37. Schellinger PD, Jansen O, Fiebach JB, Hacke W, Sartor K. A standardized MRI stroke protocol: comparison with CT in hyperacute intracerebral hemorrhage. *Stroke* 1999;30(4):765-8.
38. Boulouis G, Berge J, Desal H, Pruvo JP, Touzé E, Cotton F, et al. Interventional neuroradiology in France, quo vadis? *J Neuroradiol J Neuroradiol* 2021;48(1):2-4.
39. Kilani V, Ifergan H, Pasi M, Janot K, Benzakoun J, Lefevre V, et al. Imagerie cérébrale à la phase aiguë de l'ischémie cérébrale. *EMC Neurol* 2023.
40. Brinjikji W, Demchuk AM, Murad MH, Rabinstein AA, McDonald RJ, McDonald JS, et al. Neurons Over Nephrons: Systematic Review and Meta-Analysis of Contrast-Induced Nephropathy in Patients With Acute Stroke. *Stroke* 2017;48(7):1862-8.
41. Sporns PB, Psychogios MN, Boulouis G, Charidimou A, Li Q, Fainardi E, et al. Neuroimaging of Acute Intracerebral Hemorrhage. *J Clin Med* 2021;10(5).

Vu, le Directeur de Thèse

Dr Grégoire BOULOUIS
Service Radiologie-Neuroradiologie
Hôpital Bretonneau - CHRU de Tours
RPPS 10101072212



Vu, le Doyen

De la Faculté de Médecine de Tours
Tours, le

MAINGUY Rozenn

52 pages – 5 tableaux – 7 figures

Résumé :

Objectif - L'hémorragie cérébrale est une pathologie grave et fréquemment mortelle, pour laquelle l'imagerie joue un rôle crucial mais n'est pas standardisée. Cette étude vise à évaluer les protocoles d'imagerie réalisés à la phase aiguë de l'hémorragie cérébrale et à déterminer la proportion de patients diagnostiqués dès la phase aiguë d'une hémorragie secondaire.

Patients et méthodes - Il s'agit d'une étude observationnelle rétrospective multicentrique, utilisant les données de la filière "Alerte AVC" du réseau de télé-imagerie IMADIS. Parmi les patients pris en charge au sein de plus de 100 hôpitaux de recours français pour une suspicion d'AVC aigu de mars 2021 à avril 2023, ceux présentant une hémorragie cérébrale ont été identifiés. Leurs comptes-rendus d'imagerie ont été relus afin d'identifier la modalité d'imagerie et le protocole réalisés et de rechercher si une cause secondaire a été mise en évidence.

Résultats - Parmi les 18 401 patients inclus dans l'étude, 756 hémorragies cérébrales ont été identifiées (4,1%). Le scanner était la modalité d'imagerie la plus largement utilisée à la phase aiguë de l'hémorragie cérébrale (71,8% des examens). Une imagerie vasculaire a été réalisée chez 78% des patients ayant présenté une hémorragie cérébrale, s'agissant le plus souvent d'un angioscanner artériel ou d'une angio-IRM TOF. Une cause secondaire a été retrouvée dans 10% des hémorragies cérébrales, comprenant une imagerie vasculaire dans une très grande majorité des cas (94,7%).

Conclusion - Une optimisation et une standardisation des protocoles d'imagerie à la phase aiguë de l'hémorragie cérébrale est indispensable pour améliorer la détection de ses causes secondaires, notamment vasculaires, nécessitant une prise en charge urgente.

Mots clés : Accident vasculaire cérébral, hémorragie cérébrale, ischémie cérébrale, imagerie diagnostique

Jury :

Président du Jury : Professeur Jean-Philippe COTTIER

Directeur de thèse : Docteur Grégoire BOULOUIS

Membres du Jury : Professeur Baptiste MOREL

Docteur Marco PASI

Docteur Clara COHEN

Date de soutenance : 7 novembre 2023