



HAL
open science

Effet de l'injection d'acide gadotérique sur la séquence de diffusion en IRM cérébrale à 3 Tesla

Hugo Prodhomme

► **To cite this version:**

Hugo Prodhomme. Effet de l'injection d'acide gadotérique sur la séquence de diffusion en IRM cérébrale à 3 Tesla. Sciences du Vivant [q-bio]. 2015. dumas-01272298

HAL Id: dumas-01272298

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01272298>

Submitted on 10 Feb 2016

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Faculté de Médecine

Année 2014-2015

N°

THESE DE
DOCTORAT en MEDECINE

DIPLOME D'ETAT

Par

Hugo PRODHOMME

Né le 22 Avril 1986 à Alençon (61)

Présentée et soutenue publiquement le **Vendredi 11 Septembre 2015.**

Effet de l'injection d'acide gadotérique sur la séquence de diffusion en IRM
cérébrale à 3 Tesla.

Président du Jury Monsieur le Professeur NONENT

Membres du Jury Monsieur le Professeur BEN SALEM

Monsieur le Professeur NONENT

Monsieur le Professeur ROUSSET

Monsieur le Docteur BEJAR

UNIVERSITE DE BREST - BRETAGNE OCCIDENTALE

Faculté de Médecine

Année 2014-2015

N°

THESE DE

DOCTORAT en MEDECINE

DIPLOME D'ETAT

Par

Hugo PRODHOMME

Née le 22 Avril 1986 à Alençon (61)

Présentée et soutenue publiquement le **Vendredi 11 Septembre 2015.**

Effet de l'injection d'acide gadotérique sur la séquence de diffusion en IRM
cérébrale à 3 Tesla.

Président du Jury Monsieur le Professeur NONENT

Membres du Jury Monsieur le Professeur BEN SALEM

Monsieur le Professeur NONENT

Monsieur le Professeur ROUSSET

Monsieur le Docteur BEJAR

UNIVERSITE DE BRETAGNE OCCIDENTALE

FACULTE DE MEDECINE ET DES SCIENCES DE LA SANTE DE BREST

DOYENS HONORAIRES :

Professeur H. FLOCH
Professeur G. LE MENN (†)
Professeur B. SENECAIL
Professeur J. M. BOLES
Professeur Y. BIZAIS (†)
Professeur M. DE BRAEKELEER
Professeur C. BERTHOU

DOYEN

PROFESSEURS ÉMÉRITES

CENAC Arnaud

Médecine interne

LEHN Pierre

Biologie Cellulaire

YOUINOU Pierre

Immunologie

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS EN SURNOMBRE

SENECAIL Bernard

Anatomie

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS DE CLASSE EXCEPTIONNELLE

BOLES Jean-Michel

Réanimation Médicale

FEREC Claude

Génétique

JOUQUAN Jean

Médecine Interne

LEFEVRE Christian

Anatomie

MOTTIER Dominique

Thérapeutique

OZIER Yves

Anesthésiologie et Réanimation Chirurgicale

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS DE 1^{ÈRE} CLASSE

BAIL Jean-Pierre

Chirurgie Digestive

BERTHOU Christian

Hématologie – Transfusion

BRESSOLLETTE Luc
COCHENER - LAMARD Béatrice
COLLET Michel
DE PARSCAU DU PLESSIX Loïc
DE BRAEKELEER Marc
DEWITTE Jean-Dominique
DUBRANA Frédéric
FENOLL Bertrand
FOURNIER Georges
GILARD Martine
GOUNY Pierre
KERLAN Véronique

LEROYER Christophe
LE MEUR Yannick
LE NEN Dominique
LOZAC'H Patrick
MANSOURATI Jacques
MARIANOWSKI Rémi
MISERY Laurent
NONENT Michel
PAYAN Christopher
REMY-NERIS Olivier
ROBASZKIEWICZ Michel
SALAUN Pierre-Yves
SARAUX Alain
SIZUN Jacques
TILLY - GENTRIC Armelle
TIMSIT Serge
WALTER Michel

Médecine Vasculaire
Ophtalmologie
Gynécologie - Obstétrique
Pédiatrie
Génétique
Médecine & Santé au Travail
Chirurgie Orthopédique et Traumatologique
Chirurgie Infantile
Urologie
Cardiologie
Chirurgie Vasculaire
Endocrinologie, Diabète & maladies
métaboliques
Pneumologie
Néphrologie
Chirurgie Orthopédique et Traumatologique
Chirurgie Digestive
Cardiologie
Oto. Rhino. Laryngologie
Dermatologie - Vénérologie
Radiologie & Imagerie médicale
Bactériologie – Virologie; Hygiène
Médecine Physique et Réadaptation
Gastroentérologie - Hépatologie
Biophysique et Médecine Nucléaire
Rhumatologie
Pédiatrie
Gériatrie & biologie du vieillissement
Neurologie
Psychiatrie d'Adultes

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS DE 2^{ÈME} CLASSE

ANSART Séverine
Maladies infectieuses, maladies
tropicales
BEN SALEM Douraied
Radiologie & Imagerie médicale
BERNARD-MARCORELLES Pascale
Anatomie et cytologie pathologiques
BEZON Eric
Chirurgie thoracique et cardiovasculaire

BLONDEL Marc	Biologie cellulaire
BOTBOL Michel	Psychiatrie Infantile
CARRE Jean-Luc	Biochimie et Biologie moléculaire
COUTURAUD Francis	Pneumologie
DAM HIEU Phong	Neurochirurgie
DEHNI Nidal	Chirurgie Générale
DELARUE Jacques	Nutrition
DEVAUCHELLE-PENSEC Valérie	Rhumatologie
GIROUX-METGES Marie-Agnès	Physiologie
HU Weigo	Chirurgie plastique, reconstructrice & esthétique ; brûlologie
HUET Olivier	Anesthésiologie - Réanimation Chirurgicale/Médecine d'urgences
LACUT Karine	Thérapeutique
LE GAL Grégoire	Médecine interne
LE MARECHAL Cédric	Génétique
L'HER Erwan	Réanimation Médicale
MONTIER Tristan	Biologie Cellulaire
NEVEZ Gilles	Parasitologie et Mycologie
NOUSBAUM Jean-Baptiste	Gastroentérologie - Hépatologie
PRADIER Olivier	Cancérologie - Radiothérapie
RENAUDINEAU Yves	Immunologie
RICHE Christian	Pharmacologie fondamentale
STINDEL Éric	Biostatistiques, Informatique Médicale & technologies de communication
UGO Valérie	Hématologie, transfusion
VALERI Antoine	Urologie

PROFESSEUR DES UNIVERSITÉS - PRATICIEN LIBÉRAL

LE RESTE Jean Yves	Médecine Générale
---------------------------	-------------------

PROFESSEUR DES UNIVERSITÉS ASSOCIÉS À MI-TEMPS

LE FLOC'H Bernard	Médecine Générale
--------------------------	-------------------

PROFESSEUR DES UNIVERSITÉS - LRU

BORDRON Anne

Biochimie et Biologie moléculaire

MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS – PRATICIENS HOSPITALIERS DE HORS CLASSE

AMET Yolande

Biochimie et Biologie moléculaire

LE MEVEL Jean Claude

Physiologie

MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS – PRATICIENS HOSPITALIERS DE 1ÈRE CLASSE

ABGRAL Ronan

Biophysique et Médecine nucléaire

DELLUC Aurélien

Médecine interne

DE VRIES Philine

Chirurgie infantile

DOUET-GUILBERT Nathalie

Génétique

HILLION Sophie

Immunologie

JAMIN Christophe

Immunologie

LE GAC Gérald

Génétique

LODDE Brice

Médecine et santé au travail

MIALON Philippe

Physiologie

MOREL Frédéric

Médecine & biologie du développement
& de la reproduction

PERSON Hervé

Anatomie

PLEE-GAUTIER Emmanuelle

Biochimie et Biologie Moléculaire

QUERELLOU Solène

Biophysique et Médecine nucléaire

SEIZEUR Romuald

Anatomie-Neurochirurgie

VALLET Sophie

Bactériologie – Virologie ; Hygiène

MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS – PRATICIENS HOSPITALIERS DE 2ÈME CLASSE

BROCHARD Sylvain

Médecine Physique et Réadaptation

HERY-ARNAUD Geneviève

Bactériologie – Virologie; Hygiène

LE BERRE Rozenn

Maladies infectieuses-Maladies tropicales

LE ROUX Pierre-Yves

Biophysique et Médecine nucléaire

PERRIN Aurore

Biologie et médecine du développement &
de la reproduction

TALAGAS Matthieu

Cytologie et histologie

MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS – PRATICIENS HOSPITALIERS STAGIAIRES

CORNEC Divi

Rhumatologie

MAITRE DE CONFÉRENCES - CHAIRE INSERM

MIGNEN Olivier

Physiologie

MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉ ASSOCIÉS MI-TEMPS

BARRAINE Pierre

Médecine Générale

BARAIS Marie

Médecine Générale

CHIRON Benoît

Médecine Générale

NABBE Patrice

Médecine Générale

MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS

BERNARD Delphine

Biochimie et biologie moléculaire

FAYAD Hadi

Génie informatique, automatique et traitement du signal

HAXAIRE Claudie

Sociologie - Démographie

LANCIEN Frédéric

Physiologie

LE CORRE Rozenn

Biologie cellulaire

MORIN Vincent

Électronique et Informatique

MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS - LRU

BALEZ Ralph

Psychologie sociale

AGRÉGÉS DU SECOND DEGRÉ

MONOT Alain

Français

RIOU Morgan

Anglais

Remerciements :

Aux membres du jury :

A Monsieur le Professeur Michel NONENT, qui me fait l'honneur de présider mon jury. Merci pour ces 5 années d'internat et ce semestre ponction/Simmons/Compression/ PiccLine.

A Monsieur le Professeur Douraied BEN SALEM, qui a accepté de diriger cette thèse. Merci surtout pour les nombreux dossiers/cas cliniques, la disponibilité pour le mémoire et la thèse. Concernant les multiples histoires de procès, poursuites et autres soucis judiciaires venus des 4 coins de la France ... merci quand même !

A Monsieur le Professeur Jean ROUSSET, qui a accepté de faire partie de mon jury. Merci surtout pour ce semestre à l'HIA et vos analyses toujours pointues (kystes à revêtement cilié et j'en passe).

A Monsieur le Docteur Sofiane BEJAR, qui a accepté de juger ce travail. Merci pour tes multiples avis, ta disponibilité et tes cafés pour refaire le monde.

Aux différents services de radiologie ou autres, de Brest et d'ailleurs :

A tous les médecins radiologues de la Cavale Blanche ou Morvan, Michel Nonent, Douraied Ben Salem (merci de m'avoir transmis ce goût de la neuroradio notamment), Isabelle Kergastel (les vacs d'IRM pelvienne du lundi matin me manquent déjà !), Marie-Jacques Lefèvre (la reine de l'organisation et des gommettes), Pierre Forlodou et Bernard Sénécaïl, Danielle Colin, Ernest Pearson (toujours motivé pour mettre un drain ou ponctionner une « tumeur »), Pascal Larroche (spécialiste du racket d'i-phone ☺), Philippe Meriot (les mystères des rochers), Thomas Hebert (je t'assure Thomas, je suis passé en interventionnel...), Marc Garetier et Sandra Chinellato (collègues de luxe toujours dispos, tant à l'HIA qu'en garde le WE), Dr Le Bivic, JC Gentric (pour la découverte de la NRI et les staffs du matin), Valentin Tissot (pour ta disponibilité et gentillesse), Ronan Bouttier (chef de clinique de mes débuts, merci pour tes conseils et avis éclairés, tant en début qu'en fin d'internat).

Aux manips, en journée comme en garde. Merci d'avoir été là dans les débuts difficiles seuls la nuit, merci pour les moments détente derrière les consoles.

Merci à ceux de la 3T d'avoir inclus les patients. Merci à Elisabeth pour ses conseils technico-techniques sur la diffusion. Merci à ceux du vasculaire également.

A toute l'équipe de radiologie de Tahiti, les taotes Caroline, Christine, Alex, Yann, Pristina, Bertrand, la famille Tempremant (je progresse en backloop, sénologie et neuroradio...) et toute l'équipe.

A tout le service de gastro-entérologie de Morlaix, Docteur Gourlaouen, Pierre Loudu, Marc Ferec et Mikael Jegou, merci pour ce super 1^{er} semestre, votre gentillesse et disponibilité. Merci à toute l'équipe, infirmière, secrétaire ou AS.

Aux secrétaires de la Cavale, Morvan et d'ailleurs.

Au service de Doppler, merci au Professeur Luc Bressollette pour son humour, à Dr Quehe, à Mumu pour son organisation, à mes co-internes pour leurs avis, à Simon pour la détente, à Sandrine pour ses parotides et articulations en échographie.

Au service de radiologie de Keraudren, pour ce qui j'y ai appris et leur disponibilité. Comme quoi on peut commencer un stage à reculons et en sortir content.

A la famille :

A Amandine. Merci pour ton soutien indéfectible, ta patience, tes conseils (méthodo, biblio, Zotero : je crois que c'est toi la chercheuse du couple), ton organisation et tout le reste. Merci pour tout !

A Duduss et Ninitte, d'avoir toujours été présents et à l'écoute quand des choix difficiles se présentaient. Merci de m'écouter quand je dis que la douleur de Duduss est pariétale... Changez rien !

A mon frangin, Maxime aka « Jackoni ». Merci pour tout, de m'avoir fait découvrir les sports de glisse (body-, long-, mountain- et autre sport qui se termine en « board). Merci aussi pour tes conseils toujours avisés en escalade (mais je te répète que la ficelle, c'est mieux que le bloc !) ou ailleurs. Merci à Noé et Claire de te combler.

A mes grands-parents, à ma grand-mère pour sa gentillesse et son optimisme.

A mes beaux-parents pour leur gentillesse (nao estou de brincadeiras)

A mes amis et/ou co-internes :

Pauline et Thomas : merci pour ces sessions longskate, surf ou kite, ces vacances ensemble, ces soirées ensemble, bref tous ces moments ensemble.

Anne et Pierre Antoine : merci pour ces mêmes vacances, ces mêmes sessions, les hébergements parisiens, l'éternel attrait du néoprène et du 60cm on-shore « mais ça va être bien » de Piloute.

Jawad pour sa participation active à ce travail, ses idées, ses loukoums et tout le reste
Julien (merci pour tes stats, de la première à la Xième version ou comment éclaircir l'incompréhensible)
Slim (pour tes avis, tes délires Atem Ben Arfa, ta bsissa,.... euh nan ! Oublie ça !)
Sofiane (bah oui, tu es là deux fois ! pour tes cafés et tes discussions enflammées)
Adèle (pour ta bonne humeur perpétuelle, pour la Réunion, pour Quimper, pour l'ostéo...) et son tendre Brendan (pour la Réunion et le reste)
Jéjé (co-interne de luxe, toujours prêt pour causer, sans jamais se prendre la tête)
Fabien (toujours arrangeant et motivé en Doppler, un plaisir de bosser avec toi)
Florent (seul personne à pouvoir me rendre l'ostéo-articulaire supportable)
Anne (pour ce stage de neuro et ce sujet de thèse, auquel tu as tout de suite cru)
Olivier (ses conseils administratifs, son sourire, ses WE voile)
Morgan (sa bonne humeur et tous ses cours de neuro que j'ai loupé...)
Lieutenant Céline (pour sa gentillesse, bonne humeur et conscience professionnelle)
Valentin (la gentillesse concentrée en un chef de clinique)
Anthony et Alban (pour leurs avis de « vieux internes » que j'étais « jeune interne »)
Ronan (pour m'avoir conseillé cette spé, les sessions kite et ta disponibilité sans faille en tant que chef de clinique)
Idris (pour tes T-shirts et ta motivation surfistique)
Ali (toujours posé, pour prendre du recul sur les choses)
Antoine (toujours happy et bien dans ses Air Boiz')
Anaïs et ses fous-rires (flipper...)
Nicolas
Lucile pour son rire, même « au bout de sa vie »)
François (la classe et la gentillesse, tout simplement)
Romain aka « Cad », king of backloop, kiteloop
Simon, l'autre roi des kiteloops
Marine pour sa motivation et ses roulettes du fond au baby
Marine et Laurent : pour ce mariage, ces soirées, Marine pour tes délires, Laurent pour ton EVG...

Merci à tous ceux que j'oublie

TABLE DES MATIERES

Article original

Effet de l'injection d'acide gadotérique sur la séquence de diffusion en IRM cérébrale à 3 Tesla.

Résumé	14
Introduction	15
Matériel et méthodes	15
Population d'étude	15
Analyse des images	16
Analyse statistique	18
Résultats	19
Discussion	22
Conclusion	25
Index des tableaux	26
Index des figures	27
Références	28

Effet de l'injection d'acide gadotérique sur la séquence de diffusion en IRM cérébrale à 3 Tesla.

Résumé :

Introduction : Les séquences pondérées en diffusion sont devenues en quelques années un outil indispensable en Imagerie par Résonance Magnétique (IRM), notamment en neuro-radiologie.

Il est quelque fois nécessaire, en pratique clinique, de réaliser une diffusion après injection de chélates de gadolinium (par exemple en raison de difficultés techniques initiales ou en raison d'artéfacts).

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact de l'injection de gadolinium sur les séquences pondérées en diffusion, qualitativement et quantitativement.

Matériel et méthode : Quarante trois patients ayant eu une exploration en IRM 3 Tesla pour des troubles neurologiques variés (Accidents vasculaires cérébraux, tumeurs, pathologie démyélinisante ou autres) ont été inclus dans l'étude.

Deux séquences de diffusion ont été réalisées successivement : la première avant injection de gadolinium et la seconde 7 minutes après l'injection.

Nous avons alors étudié le rapport contraste-sur-bruit (CNR, contrast-to-noise ratio) ainsi que le rapport signal-sur-bruit (SNR, signal-to-noise ratio) des lésions cérébrales et du parenchyme cérébral sain. Nous avons également calculé les valeurs d'ADC (Coefficient de Diffusion Apparent) obtenues avant et après injection de chélates de gadolinium.

Un test t de Student a été réalisé afin de rechercher une différence statistiquement significative entre ces différents paramètres avant et après injection.

Résultats : Le SNR et le CNR ne présentaient pas de différence significative avant et après injection de produit de contraste dans le parenchyme cérébral sain comme dans les lésions. Les valeurs d'ADC apparaissaient également identiques avant et après injection.

Conclusion : La séquence de diffusion peut être réalisée 7 minutes après injection sans altération de celle-ci, tant sur le plan qualitatif (SNR et CNR) que quantitatif (valeurs d'ADC) dans les lésions ou le parenchyme cérébral sain, en IRM 3 Tesla.

MOTS-CLES : Diffusion, coefficient de diffusion apparent, 3 Tesla, gadolinium, encéphale.

Introduction

Depuis ses premières utilisations en pratique clinique (1), l'imagerie de diffusion est devenue un outil essentiel dans l'imagerie par résonance magnétique moderne. Apportant des informations diagnostiques notables dans le cadre des AVC ischémiques en phase aiguë (2), elle a peu à peu investi de nouveaux domaines, tout particulièrement l'oncologie et la neuro-radiologie.

Dans la grande majorité des cas, cette séquence est réalisée avant toute injection de produit de contraste. Cependant, il est quelque fois nécessaire de la réitérer après injection, pour de multiples raisons (première série artéfactée, résultats douteux, nécessité d'autres valeurs de b.....).

Plusieurs études ont étudié l'effet du gadolinium sur la diffusion à l'étage encéphalique mais les résultats sont controversés.

Si Fitzek(3), Firat (4)f, Yamada (5)et Li (6) ne montraient pas de modification des valeurs de CNR et SNR après gadolinium, leurs observations diffèrent concernant les valeurs d'ADC : Firat ne mettait pas en évidence de modification significative de celles-ci après gadolinium, contrairement à Yamada, Firat et Li.

Toutefois, seule l'étude la plus récente de Li, en 2013, a été réalisée à 3 Tesla.

Le but de cette étude était ici d'étudier l'impact de l'injection de chélates de gadolinium sur les valeurs d'ADC, SNR et CNR sur l'encéphale à 3 Tesla.

Matériel and Méthodes :

Population d'étude :

Quarante trois patients ayant une IRM 3 Tesla injectée dans notre centre pour exploration d'un trouble neurologique (pathologie tumorale, ischémique, hémorragique, autre...) ont été étudiés de façon consécutive dans cette étude monocentrique.

L'âge des patients L'injection de produit de contraste a été réalisée pour chaque patient en raison d'un intérêt diagnostique clinique.

L'accord de l'établissement ainsi qu'une information et un consentement écrit du patient ont été obtenus pour chaque cas.

L'IRM utilisée était une IRM Philips 3T Achieva d-Stream 3T (Philips, Best, Pays-Bas), antenne tête (16 ou 32 canaux).

Différentes séquences ont été réalisées : séquences pondérées T1 Spin Echo, avant et après injection, neuro-navigation (séquence 3D T1 écho de gradient) et 3D T2 Flair principalement.

2 séquences de diffusion ont été réalisées de façon standardisée, avant puis après injection de produit de contraste (7 minutes).

Les paramètres de ces séquences ont été les suivants : séquence de diffusion Spin Echo – EPI avec Fat-Sat, TR = 3000 ms, TE = 60 ms, facteur EPI 47, épaisseur de coupe = 4mm, espacement inter-coupe 0,4mm, plan de coupe : commissure antérieure - commissure postérieure, matrice 120 x 95, champ de vue 240 x 240, pixel 2 x 2,5 x 4 mm avec facteur d'accélération SENSE = 2, valeurs de b : 0 puis 1000 s/mm².

La durée de la séquence était d'environ 35 secondes.

Le délai moyen entre l'injection et la deuxième diffusion a été de 7 minutes, avec comme valeurs extrêmes 4 minutes 30 secondes et 17 minutes.

Le produit de contraste utilisé était l'acide gadotérique (DOTAREM, Guerbet, Villepinte, France), injecté à la dose de 0,1 mmol/kg de poids corporel.

L'âge des patients a été systématiquement recueilli, permettant une analyse de sous-groupe, comparant les patients âgés de plus de 60 ans et les plus jeunes (<60 ans)

Analyse des images :

Des régions d'intérêt (ROI) ont été placées par deux radiologues (H.P et J.M) dans les lésions et le parenchyme sain en utilisant le logiciel d'imagerie médicale OsiriX 5.8.2 (Pixmeo, Genève, Suisse).

Ces ROI ont été initialement placées sur les séquences de diffusion à b = 0 s/mm², puis automatiquement propagées aux autres séquences (cartographie ADC et b = 1000 s/mm²).

En présence de lésions encéphaliques, les ROI ont été placées au centre des lésions qui ne prenaient pas le contraste. Pour celles prenant le contraste, la ROI a été placée

dans la portion se réhaussant le plus intensément sur la séquence T1 après injection de Dotarem.

Des ROI ont également été placées dans le parenchyme cérébral sain : dans les putamens et dans les centres semi-ovales (CSO), sur la coupe directement supérieure aux toits des ventricules latéraux.

En cas de lésion sur ce plan de coupe, les ROI ont été positionnées sur la première coupe sus-jacente sans lésion.

Une dernière ROI a été placée dans l'air péri-cérébral, afin d'avoir une estimation du bruit de fond, sur le même plan de coupe que les ROI du centre semi-ovale. Celle-ci était placée au même endroit (arbitrairement en antérieur gauche), à une distance identique de la tête du patient (centre du ROI à 25mm de la tête du patient), avec un volume de ROI constant (400 mm^2).

Ont été exclues de l'analyse les lésions de diamètre $< 7\text{mm}$ (surface correspondant $< 40\text{mm}^2$). En cas de décalage entre les séries avant et après injection, un recalage manuel a été réalisé (5 patients).

La figure suivante illustre le positionnement des ROI dans le cas d'un patient ayant un méningiome (confirmé histologiquement) (Figure 1).

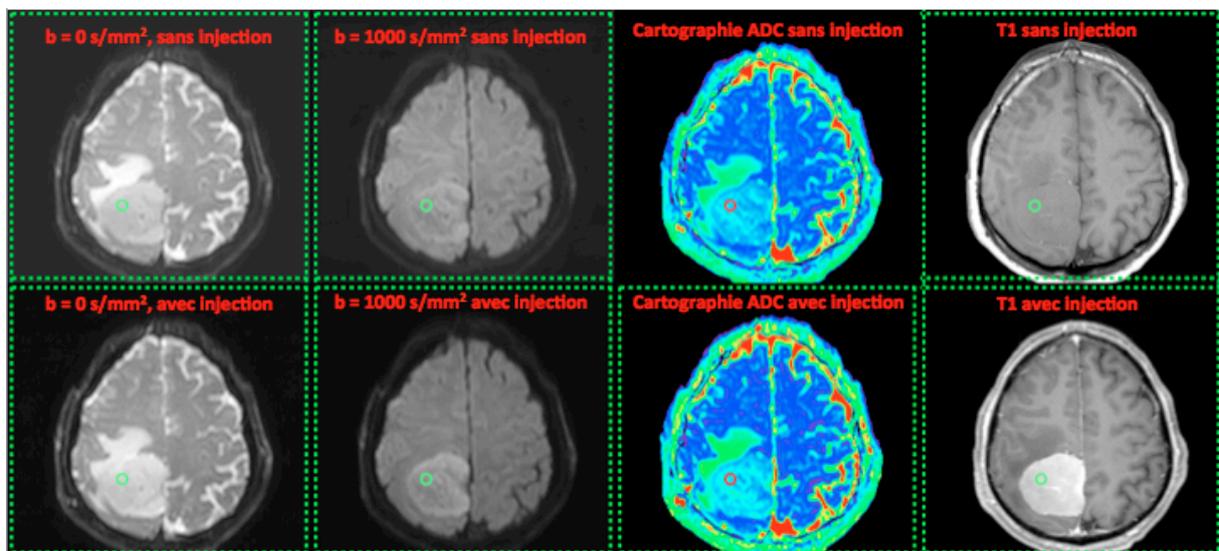


Figure 1 : Exemple de positionnement du ROI dans une lésion

La figure suivante illustre le positionnement des ROI dans le parenchyme sain (centres semi ovales) et l'air péri-cérébral afin d'estimer le bruit de fond (Figure 2).

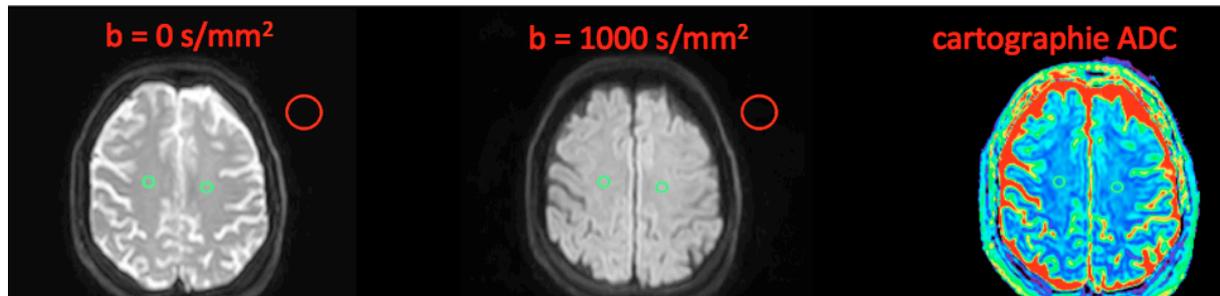


Figure 2 : Exemple de positionnement des ROI dans les centres semi ovales et mesure du bruit de fond

Les valeurs de contraste sur bruit (CNR) et signal sur bruit (SNR) ont été obtenues via les formules suivantes :

$$\text{CNR} = (S_{\text{lésion}} - S_{\text{sain}}) / \text{SD}_{\text{noise}}$$

$$\text{SNR} = S / \text{SD}_{\text{noise}}$$

avec $S_{\text{lésion}}$ l'intensité du signal dans la lésion, S_{sain} l'intensité du signal dans le centre semi-ovale gauche (défini de façon arbitraire comme zone de référence) et SD_{noise} la déviation standard du bruit de fond.

Les valeurs d'ADC ont été obtenues sur la cartographie automatiquement générée.

Analyse statistique :

La reproductibilité des mesures réalisées a été étudiée via le calcul des coefficients de corrélation inter-observateur.

Nos différents critères (CNR, SNR et valeurs d'ADC avant et après gadolinium) ont été comparés grâce au test t de Student. Une valeur de $p < 0.05$ était considérée comme statistiquement significative.

Résultats :

Quarante trois IRM injectées ont pu être réalisées chez 43 patients différents (27 hommes et 16 femmes)

L'âge moyen des patients était de 57 ans et 9 mois, allant de 21 ans et 7 mois à 88 ans et 9 mois.

Quatre patients présentaient des lésions hémorragiques et ont été exclus de l'analyse.

Vingt trois patients (53,5%) présentaient un autre type de lésion encéphalique avec la répartition suivante : 17 tumeurs (parmi lesquelles 1 schwannome, 3 métastases, 8 lésions gliales, 2 méningiomes et 3 lésions sans histologie disponible), 4 lésions ischémiques, 1 lésion inflammatoire (sclérose en plaque) et une dysplasie corticale.

Vingt et une des ces 23 lésions ont pu être analysées : 2 lésions étant exclues de l'analyse en raison d'un diamètre lésionnel trop petit (le schwannome et une lésion gliale). (Figure 3)

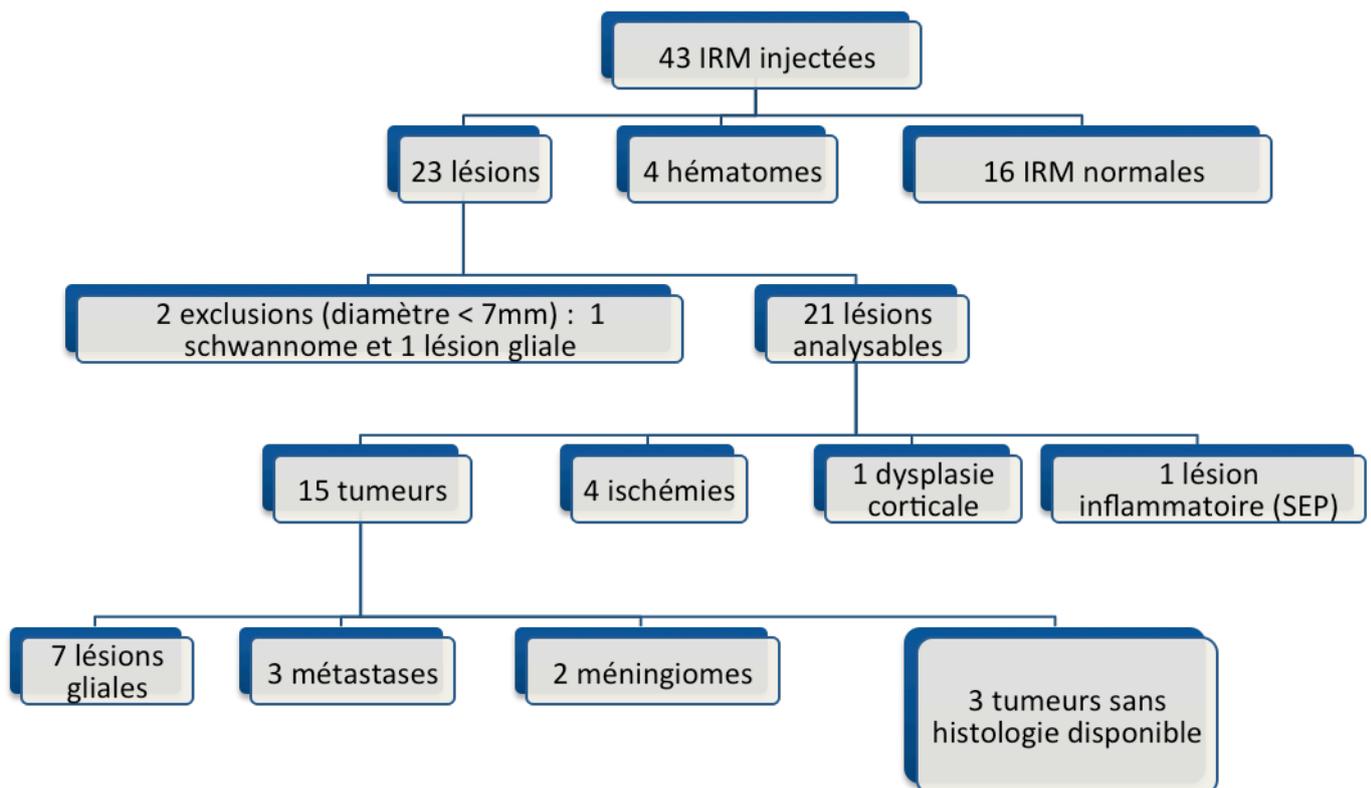


Figure 3 : schéma de l'étude

SNR des séquences pondérées en diffusion :

Dans les centres semi-ovales, les noyaux lenticulaires ou les lésions, aucune différence statistiquement significative n'a été observée entre les valeurs de SNR avant et après injection de gadolinium sur les séquences T2 ($b = 0 \text{ s/mm}^2$) et de diffusion ($b = 1000 \text{ s/mm}^2$). (Tableau 1)

CNR sur les séquences pondérées en diffusion :

Les valeurs de CNR avant et après injection ne montraient pas de différence statistiquement significative à $b = 1000 \text{ s/mm}^2$.

Sur les séquences T2 ($b = 0 \text{ s/mm}^2$), l'analyse statistique mettait en évidence une différence des valeurs de CNR pré versus post-injection ($p = 0,04$). A noter toutefois que cette différence disparaissait lorsque les données étaient analysées par lecteur et côté d'observation ($p = 0,25$). (Tableau 1)

		Lésions	NL D	NL G	CSO D	CSO G
SNR (b=1000)	pré	311± 37	256 ± 14	248 ± 13	327 ± 20	319 ± 18
	post	437 ± 102	293 ± 32	284 ± 29	364 ± 44	355 ± 40
	<i>p</i>	0,11	0,11	0,09	0,23	0,19
CNR (b = 1000)	pré	85 ± 18				
	post	136 ± 30				
	<i>p</i>	0,07				
SNR (b = 0)	pré	908 ± 78	411 ± 16	400 ± 15	530 ± 18	547 ± 18
	post	988 ± 84	422 ± 22	417 ± 22	531 ± 23	551 ± 22
	<i>p</i>	0,13	0,38	0,23	0,96	0,78
CNR (b = 0)	pré	376 ± 58				
	post	453 ± 59				
	<i>p</i>	0,04				

Tableau 1 : Evolution des rapports SNR et CNR après injection

Valeurs d'ADC :

Les valeurs d'ADC ne différaient pas de façon significative avant et après injection de gadolinium concernant les centres semi-ovales droits ou gauches (respectivement $p = 0,28$ et $p = 0,27$), les noyaux lenticulaires ($p = 0,74$ à droite et $p = 0,33$ à gauche) ou les lésions ($p = 0,34$). (Tableau 2).

Cela restait valable lors de l'analyse de sous-groupe suivant les types de lésion ou le sexe (non représenté).

Les valeurs d'ADC (que ce soit avant ou après injection) ne différaient pas de façon statistiquement significative selon le côté analysé, dans les noyaux lenticulaires ($p = 0,7$) ou les centres semi-ovales ($p = 0,2$).

		Lésion	CSO D	CSO G	NL D	NL G
	pré	1378 ± 115	750 ± 16	774 ± 15	709 ± 9	722 ± 7
ADC	post	1361 ± 110	755 ± 15	779 ± 15	707 ± 9	716 ± 6
	<i>p</i>	0,35	0,28	0,27	0,74	0,33

Tableau 2 : Valeurs d'ADC avant et après injection, dans le parenchyme sain et les lésions

A droite comme à gauche, il existait en revanche une différence significative des valeurs d'ADC en fonction de l'âge des patients : les patients plus âgés (>60 ans) présentaient des valeurs d'ADC plus élevées que les plus jeunes (<60 ans) dans les centres semi-ovales ou les noyaux lenticulaires .

Ces différences étaient statistiquement significatives (Figure 4).

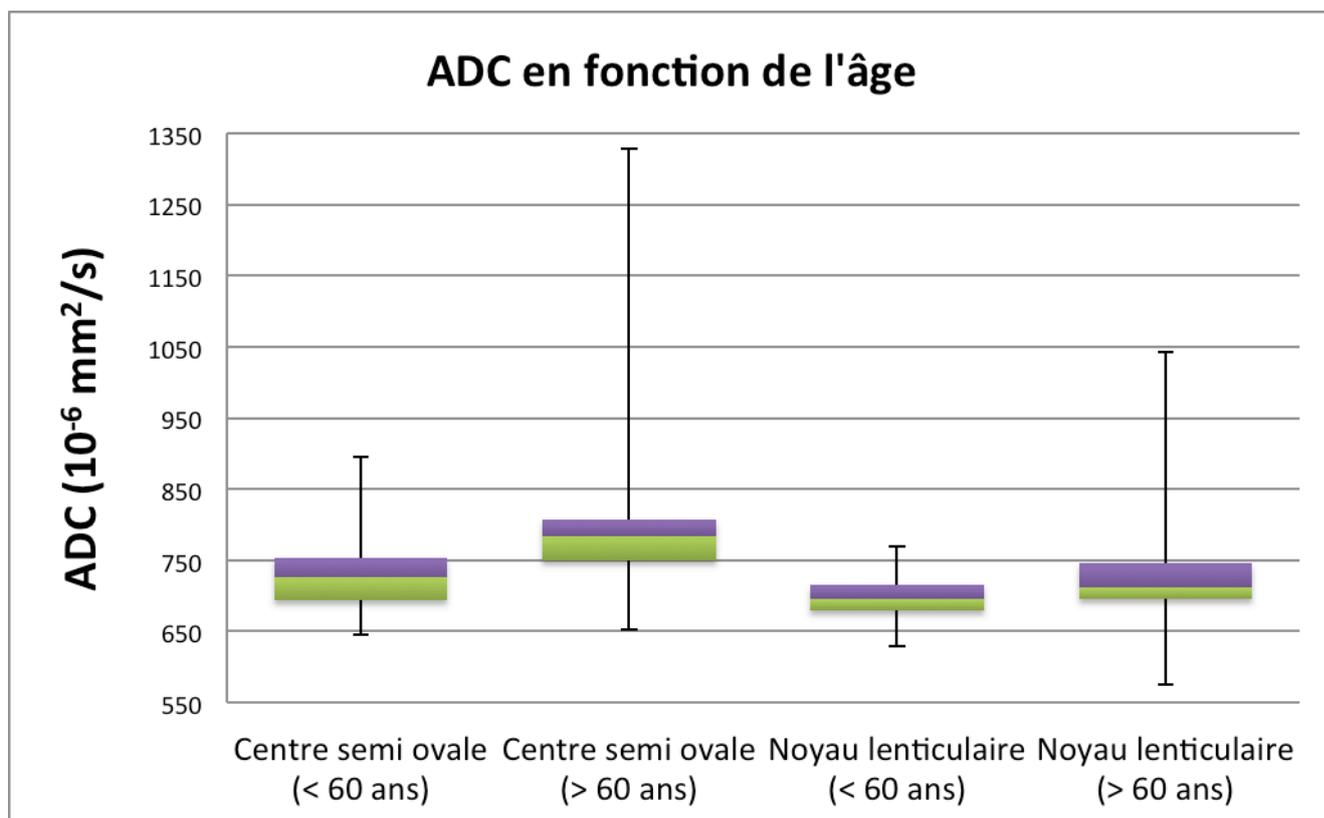


Figure 4 : Valeurs d'ADC en fonction de l'âge

Discussion :

Si les études de l'impact de l'injection de produit de contraste sur la diffusion ont été régulièrement réalisées à 1,5 Tesla, sur le foie (7)(8) ou sur des modèles animaux (9), il n'existe à notre connaissance qu'un seul travail récent qui a étudié l'impact de l'injection de gadolinium sur les séquences de diffusion à 3T à l'étage encéphalique chez l'Homme(6). Dans cette étude, les auteurs étudiaient surtout les modifications de l'ADC dans différents types de tumeurs, mais analysaient peu le parenchyme sain.

Dans notre étude, les CNR et SNR ne montraient pas de différence statistiquement significatives entre la diffusion avant injection et celle injectée. Seul le CNR à $b = 0$ montrait une différence en considérant l'ensemble des valeurs mais cette différence disparaissait lors de l'analyse statistique en analysant les données suivant le côté et l'observateur. Ceci doit remettre en cause l'existence réelle de cette différence.

Ces résultats sont en adéquation avec les études précédentes (3)(4)(5)(6), montrant l'absence d'altération de la qualité des images de diffusion après injection. Cette information est ici primordiale : les valeurs d'ADC dérivant de la décroissance calculée

du signal sur les séries à $b = 0$ et $b = 1000$, une stabilité de la qualité des images (CNR et SNR) est indispensable pour pouvoir analyser de façon fiable d'éventuelles modifications d'ADC(6).

Après injection, les valeurs d'ADC n'étaient pas modifiées. Nous ne retrouvons pas dans ce travail les modifications d'ADC décrites par Li (6), du fait du schéma d'étude. Le but était ici de confirmer l'absence d'impact de l'injection de gadolinium sur les valeurs d'ADC, dans les lésions ou le parenchyme sain après un certain délai. Li a montré une altération de l'ADC dans les séries les plus précoces après injection, puis une normalisation progressive. Le délai de 7 minutes choisi ici a permis de se situer après normalisation, confirmant le fait que les séquences de diffusion peuvent être réalisées tardivement après injection de produit de contraste.

Des études ont montré que plusieurs mécanismes s'associaient pour expliquer cette baisse des valeurs d'ADC à la phase précoce après injection de gadolinium : une élévation du $R2$ ($1/T2$) due à l'effet de perfusion (10) et une baisse de la susceptibilité magnétique intravasculaire après injection(10)(11).

Les valeurs d'ADC ne montraient dans cette étude pas de différence significative suivant le côté analysé. Ceci est en accord avec les données de la littérature, faisant état des valeurs d'ADC comparables à droite et à gauche.

Concernant les valeurs d'ADC en fonction de l'âge, nos résultats confirment des données de la littérature faisant état d'une élévation des valeurs d'ADC avec l'âge, tant dans la substance blanche (centre semi ovale) que dans le noyau lenticulaire(12).

Les valeurs d'ADC présentées dans ce travail (moyenne de $0,76 \times 10^{-3} \text{ mm/s}^2$ pour les centres semi-ovales et de $0,71 \times 10^{-3} \text{ mm/s}^2$ pour les noyaux lenticulaires) sont globalement superposables à celles décrites dans la littérature ($0,77$ à $7,58 \times 10^{-3} \text{ mm/s}^2$ pour la substance blanche et $0,76 \pm 0,13 \times 10^{-3} \text{ mm/s}^2$ pour la substance grise)(13)(14).

Il convient de relever plusieurs limites à cette étude :

Tout d'abord un certain manque de puissance. La faiblesse relative de l'échantillon de population (tant concernant le groupe sain que pathologique) n'a pas permis la réalisation d'analyse statistique fiable de sous-groupes (groupe lésionnel, groupe tumoral...). De plus, l'inhomogénéité du groupe tumoral (histologies différentes, pré ou post-traitement...) rend également difficile toute analyse des valeurs d'ADC. Le but

de l'étude étant de comparer les valeurs d'ADC avant et après gadolinium, les lésions déjà traitées n'ont pas été exclues de l'analyse.

La réalisation d'une seule diffusion après injection ne permet ici pas d'identifier de façon fiable un délai au delà ou à partir duquel les valeurs de diffusion seraient modifiées ou restaurées.

L'inhomogénéité du bruit de fond observée sur les différentes séquences (à $b = 0$ et $b = 1000 \text{ s/mm}^2$) a également pu entraîner des biais de mesure des SNR et CNR. En effet, la mesure du bruit variait suivant le positionnement des ROI dans l'air péri-cérébral : il était plus important à proximité de la tête du patient et diminuait à distance (en antéro-postérieur et latéralement). Cette limite a toutefois pu être diminuée au maximum en standardisant le positionnement de cette ROI. Ce protocole a ainsi permis d'obtenir un fort coefficient de corrélation inter-observateur pour les mesures du bruit (0,95 à $b=0$ et 0,91 à $b=1000 \text{ s/mm}^2$).

Il faut également noter que la ROI positionnée sur les séquences avant injection était propagée automatiquement sur celles injectées : cela a permis une comparaison fiable des valeurs de bruit avant et après injection.

Enfin, même si un recalage manuel a été réalisé dans tous les cas nécessaires (en présence de décalage entre les séquences avant et après injection), il n'est pas possible de s'assurer de la stricte adéquation des plans de coupe entre les 2 moments d'acquisition.

Plusieurs éléments permettent toutefois de pondérer ces limites :

Tout d'abord, le fort taux de confirmation histologique dans le groupe tumoral. Celui-ci atteint en effet plus de 82 % des cas, ce qui permet une bonne description de ce groupe, même si celui-ci reste hétérogène.

Le positionnement des différentes ROI par deux lecteurs indépendants a apporté un gain notable en terme de statistiques : elle a permis d'étudier la robustesse du protocole et sa reproductibilité, via l'analyse des coefficients de corrélation inter-observateur.

Il convient également de noter le bon contrôle du délai injection/deuxième diffusion (faible variation des délais avec une déviation standard à 2 minutes 8 secondes).

Conclusion

Après un certain délai post-injection (7 minutes), une séquence en diffusion peut être réalisée à 3 Tesla sur l'encéphale.

En effet, l'injection de gadolinium n'entraîne pas d'altération significative de celle-ci à l'étage encéphalique à 3 Tesla, tant sur le plan qualitatif (le CNR et SNR apparaissent stables après injection) que quantitatif (il n'existe pas de modification des valeurs d'ADC).

Index des Tableaux

Tableau 1 : Evolution des rapports SNR et CNR après injection

Tableau 2 : Valeurs d'ADC avant et après injection, dans le parenchyme sain et les lésions

Index des Figures

Figure 1 : Exemple de positionnement du ROI dans une lésion

Figure 2 : Exemple de positionnement des ROI dans les centres semi ovales et mesure du bruit de fond

Figure 3 : Schéma de l'étude

Figure 4 : Valeurs d'ADC en fonction de l'âge

Références :

1. Le Bihan D, Breton E, Lallemand D, Grenier P, Cabanis E, Laval-Jeantet M. MR imaging of intravoxel incoherent motions: application to diffusion and perfusion in neurologic disorders. *Radiology*. 1986;161:401–407.
2. González RG, Schaefer PW, Buonanno FS, et al. Diffusion-weighted MR imaging: diagnostic accuracy in patients imaged within 6 hours of stroke symptom onset. *Radiology*. 1999;210:155–162.
3. Fitzek C, Mentzel HJ, Fitzek S, Sauner D, Kaiser WA, Reichenbach JR. Echoplanar diffusion-weighted MRI with intravenous gadolinium-DTPA. *Neuroradiology*. 2003;45:592–597.
4. Fırat AK, Şanlı B, Karakaş HM, Erdem G. The effect of intravenous gadolinium-DTPA on diffusion-weighted imaging. *Neuroradiology*. 2006;48:465–470.
5. Yamada K, Kubota H, Kizu O, et al. Effect of Intravenous Gadolinium-DTPA on Diffusion-Weighted Images Evaluation of Normal Brain and Infarcts. *Stroke*. 2002;33:1799–1802.
6. Li X, Qu J-R, Luo J-P, et al. Effect of intravenous gadolinium-DTPA on diffusion-weighted imaging of brain tumors: A short temporal interval assessment. *J Magn Reson Imaging*. 2014;40:616–621.
7. Colagrande S, Mazzoni LN, Mazzoni E, Pradella S. Effects of gadoxetic acid on quantitative diffusion-weighted imaging of the liver. *J Magn Reson Imaging JMRI*. 2013;38:365–370.
8. Choi JS, Kim M-J, Choi J-Y, Park M-S, Lim JS, Kim KW. Diffusion-weighted MR imaging of liver on 3.0-Tesla system: effect of intravenous administration of

gadoteric acid disodium. *Eur Radiol.* 2010;20:1052–1060.

9. Chen P-C, Jao J-C, Lin D-J, Hsiao C-C, Pan H-B. Effect of gadobutrol on VX2 magnetic resonance diffusion-weighted imaging. 2012 Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc EMBC. 2012. p. 384–387.

10. Zhong J, Kennan RP, Fulbright RK, Gore JC. Quantification of intravascular and extravascular contributions to BOLD effects induced by alteration in oxygenation or intravascular contrast agents. *Magn Reson Med.* 1998;40:526–536.

11. Does MD, Zhong J, Gore JC. In vivo measurement of ADC change due to intravascular susceptibility variation. *Magn Reson Med.* 1999;41:236–240.

12. Chun T, Filippi CG, Zimmerman RD, Uluğ AM. Diffusion Changes in the Aging Human Brain. *Am J Neuroradiol.* 2000;21:1078–1083.

13. Yoshiura T, Wu O, Sorensen AG. Advanced MR techniques: diffusion MR imaging, perfusion MR imaging, and spectroscopy. *Neuroimaging Clin N Am.* 1999;9:439–453.

14. Cihangiroglu M, Uluğ AM, Firat Z, Bayram A, Kovanlikaya A, Kovanlikaya İ. High b-value diffusion-weighted MR imaging of normal brain at 3 T. *Eur J Radiol.* 2009;69:454–458.

PRODHOMME (Hugo) : Effet de l'injection d'acide gadotérique sur la séquence de diffusion en IRM cérébrale à 3 Tesla.

4 f. 3 tabl. Th. : Méd. : Brest 2015.

RESUME :

Introduction : Les séquences pondérées en diffusion sont devenues en quelques années un outil indispensable en Imagerie par Résonance Magnétique (IRM), notamment en neuro-radiologie. Il est quelque fois nécessaire, en pratique clinique, de réaliser une diffusion après injection de chélates de gadolinium (par exemple en raison de difficultés techniques initiales ou en raison d'artéfacts). L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact de l'injection de gadolinium sur les séquences pondérées en diffusion, qualitativement et quantitativement. **Matériel et méthode :** Quarante trois patients ayant eu une exploration en IRM 3 Tesla pour des troubles neurologiques variés (Accidents vasculaires cérébraux, tumeurs, pathologie démyélinisante ou autres) ont été inclus dans l'étude. Deux séquences de diffusion ont été réalisées successivement : la première avant injection de gadolinium et la seconde 7 minutes après l'injection. Nous avons alors étudié le rapport contraste-sur-bruit (CNR, contrast-to-noise ratio) ainsi que le rapport signal-sur-bruit (SNR, signal-to-noise ratio) dans des lésions cérébrales et le parenchyme cérébral sain. Nous avons également calculé les valeurs d'ADC (Coefficient de Diffusion Apparent) obtenues avant et après injection de chélates de gadolinium. Un test t de Student a été réalisé afin de rechercher une différence statistiquement significative entre ces différents paramètres avant et après injection. **Résultats :** Le SNR et le CNR ne présentaient pas de différence significative avant et après injection de produit de contraste dans le parenchyme cérébral sain comme dans les lésions. Les valeurs d'ADC apparaissaient également identiques avant et après injection. **Conclusion :** La séquence de diffusion peut être réalisée 7 minutes après injection sans altération de celle-ci, tant sur le plan qualitatif (SNR et CNR) que quantitatif (valeurs d'ADC) dans les lésions ou le parenchyme cérébral sain, en IRM 3 Tesla.

MOTS CLES : Diffusion

3 Tesla

Coefficient de diffusion apparent

Gadolinium

Encéphale

JURY :

Président : Monsieur le Professeur M. NONENT

Membres : Monsieur le Professeur D. BEN SALEM

Monsieur le Professeur J. ROUSSET

Monsieur le Docteur S. BEJAR

DATE DE SOUTENANCE :

11 Septembre 2015

ADRESSE DE L'AUTEUR :