FACULTE MIXTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE DE ROUEN

ANNEE UNIVERSITAIRE 2016 – 2017

THESE POUR LE DOCTORAT EN MEDECINE

(Diplôme d'Etat)

Par

Mickaël LAIR

Né le 8 Avril 1987 à Drancy

Présentée et soutenue publiquement le 10 Février 2017

Apport du tenseur de diffusion par rapport à la diffusion classique dans l'exploration par IRM des pyélonéphrites aiguës de l'enfant

Président du jury : Monsieur le Professeur Jean-Nicolas DACHER

Directeur de thèse : Monsieur le Docteur Pierre-Hugues VIVIER

Membre du jury : Madame le Professeur Céline SAVOYE-COLLET

Membre du jury : Monsieur le Professeur Emmanuel GERARDIN

ANNEE UNIVERSITAIRE 2016 - 2017

U.F.R. DE MEDECINE ET DE-PHARMACIE DE ROUEN

DOYEN : **Professeur Pierre FREGER**

ASSESSEURS : **Professeur Michel GUERBET**

Professeur Benoit VEBER

Professeur Pascal JOLY

Professeur Stéphane MARRET

I - **MEDECINE**

PROFESSEURS DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS

Mr Frédéric **ANSELME**	HCN	Cardiologie
Mme Isabelle **AUQUIT AUCKBUR**	HCN	Chirurgie plastique
Mr Fabrice **BAUER**	HCN	Cardiologie
Mme Soumeya **BEKRI**	HCN	Biochimie et biologie moléculaire
Mr Ygal **BENHAMOU**	HCN	Médecine interne
Mr Jacques **BENICHOU**	HCN	Bio statistiques et informatique médicale
Mme Bouchra **LAMIA**	Havre	Pneumologie
Mr Olivier **BOYER**	UFR	Immunologie
Mr François **CARON**	HCN	Maladies infectieuses et tropicales
Mr Philippe **CHASSAGNE** *(détachement)*	HCN	Médecine interne (gériatrie) – Détachement
Mr Vincent **COMPERE**	HCN	Anesthésiologie et réanimation chirurgicale
Mr Jean-Nicolas **CORNU**	HCN	Urologie
Mr Antoine **CUVELIER**	HB	Pneumologie
Mr Pierre **CZERNICHOW** *(surnombre)*	HCH	Epidémiologie, économie de la santé
Mr Jean-Nicolas **DACHER**	HCN	Radiologie et imagerie médicale
Mr Stéfan **DARMONI**	HCN	Informatique médicale et techniques de communication
Mr Pierre **DECHELOTTE**	HCN	Nutrition

Mr Stéphane **DERREY**	HCN	Neurochirurgie
Mr Frédéric **DI FIORE**	CB	Cancérologie
Mr Fabien **DOGUET**	HCN	Chirurgie Cardio Vasculaire
Mr Jean **DOUCET**	SJ	Thérapeutique - Médecine interne et gériatrie
Mr Bernard **DUBRAY**	CB	Radiothérapie
Mr Philippe **DUCROTTE**	HCN	Hépato-gastro-entérologie
Mr Frank **DUJARDIN**	HCN	Chirurgie orthopédique - Traumatologique
Mr Fabrice **DUPARC**	HCN	Anatomie - Chirurgie orthopédique et traumatologique
Mr Eric **DURAND**	HCN	Cardiologie
Mr Bertrand **DUREUIL**	HCN	Anesthésiologie et réanimation chirurgicale
Mme Hélène **ELTCHANINOFF**	HCN	Cardiologie
Mr Thierry **FREBOURG**	UFR	Génétique
Mr Pierre **FREGER**	HCN	Anatomie - Neurochirurgie
Mr Jean François **GEHANNO**	HCN	Médecine et santé au travail
Mr Emmanuel **GERARDIN**	HCN	Imagerie médicale
Mme Priscille **GERARDIN**	HCN	Pédopsychiatrie
Mr Michel **GODIN** *(surnombre)*	HB	Néphrologie
M. Guillaume **GOURCEROL**	HCN	Physiologie
Mr Dominique **GUERROT**	HCN	Néphrologie
Mr Olivier **GUILLIN**	HCN	Psychiatrie Adultes
Mr Didier **HANNEQUIN**	HCN	Neurologie
Mr Fabrice **JARDIN**	CB	Hématologie
Mr Luc-Marie **JOLY**	HCN	Médecine d'urgence
Mr Pascal **JOLY**	HCN	Dermato - Vénéréologie
Mme Annie **LAQUERRIERE**	HCN	Anatomie et cytologie pathologiques
Mr Vincent **LAUDENBACH**	HCN	Anesthésie et réanimation chirurgicale
Mr Joël **LECHEVALLIER**	HCN	Chirurgie infantile
Mr Hervé **LEFEBVRE**	HB	Endocrinologie et maladies métaboliques
Mr Thierry **LEQUERRE**	HB	Rhumatologie
Mme Anne-Marie **LEROI**	HCN	Physiologie
Mr Hervé **LEVESQUE**	HB	Médecine interne
Mme Agnès **LIARD-ZMUDA**	HCN	Chirurgie Infantile
Mr Pierre Yves **LITZLER**	HCN	Chirurgie cardiaque
Mr Bertrand **MACE**	HCN	Histologie, embryologie, cytogénétique

M. David **MALTETE**	HCN	Neurologie
Mr Christophe **MARGUET**	HCN	Pédiatrie
Mme Isabelle **MARIE**	HB	Médecine interne
Mr Jean-Paul **MARIE**	HCN	Oto-rhino-laryngologie
Mr Loïc **MARPEAU**	HCN	Gynécologie - Obstétrique
Mr Stéphane **MARRET**	HCN	Pédiatrie
Mme Véronique **MERLE**	HCN	Epidémiologie
Mr Pierre **MICHEL**	HCN	Hépato-gastro-entérologie
M. Benoit **MISSET**	HCN	Réanimation Médicale
Mr Jean-François **MUIR** *(surnombre)*	HB	Pneumologie
Mr Marc **MURAINE**	HCN	Ophtalmologie
Mr Philippe **MUSETTE**	HCN	Dermatologie - Vénéréologie
Mr Christophe **PEILLON**	HCN	Chirurgie générale
Mr Christian **PFISTER**	HCN	Urologie
Mr Jean-Christophe **PLANTIER**	HCN	Bactériologie - Virologie
Mr Didier **PLISSONNIER**	HCN	Chirurgie vasculaire
Mr Gaëtan **PREVOST**	HCN	Endocrinologie
Mr Bernard **PROUST**	HCN	Médecine légale
Mr Jean-Christophe **RICHARD** *(détachement)*	HCN	Réanimation médicale - Médecine d'urgence
Mr Vincent **RICHARD**	UFR	Pharmacologie
Mme Nathalie **RIVES**	HCN	Biologie du développement et de la reproduction
Mr Horace **ROMAN**	HCN	Gynécologie - Obstétrique
Mr Jean-Christophe **SABOURIN**	HCN	Anatomie - Pathologie
Mr Guillaume **SAVOYE**	HCN	Hépato-gastrologie
Mme Céline **SAVOYE–COLLET**	HCN	Imagerie médicale
Mme Pascale **SCHNEIDER**	HCN	Pédiatrie
Mr Michel **SCOTTE**	HCN	Chirurgie digestive
Mme Fabienne **TAMION**	HCN	Thérapeutique
Mr Luc **THIBERVILLE**	HCN	Pneumologie
Mr Christian **THUILLEZ** *(surnombre)*	HB	Pharmacologie
Mr Hervé **TILLY**	CB	Hématologie et transfusion
M. Gilles **TOURNEL**	HCN	Médecine Légale
Mr Olivier **TROST**	HCN	Chirurgie Maxillo-Faciale
Mr Jean-Jacques **TUECH**	HCN	Chirurgie digestive

Mr Jean-Pierre **VANNIER** *(surnombre)*	HCN	Pédiatrie génétique
Mr Benoît **VEBER**	HCN	Anesthésiologie - Réanimation chirurgicale
Mr Pierre **VERA**	CB	Biophysique et traitement de l'image
Mr Eric **VERIN**	HB	Service Santé Réadaptation
Mr Eric **VERSPYCK**	HCN	Gynécologie obstétrique
Mr Olivier **VITTECOQ**	HB	Rhumatologie
Mr Jacques **WEBER**	HCN	Physiologie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS

Mme Noëlle **BARBIER-FREBOURG**	HCN	Bactériologie – Virologie
Mme Carole **BRASSE LAGNEL**	HCN	Biochimie
Mme Valérie **BRIDOUX HUYBRECHTS**	HCN	Chirurgie Vasculaire
Mr Gérard **BUCHONNET**	HCN	Hématologie
Mme Mireille **CASTANET**	HCN	Pédiatrie
Mme Nathalie **CHASTAN**	HCN	Neurophysiologie
Mme Sophie **CLAEYSSENS**	HCN	Biochimie et biologie moléculaire
Mr Moïse **COEFFIER**	HCN	Nutrition
Mr Manuel **ETIENNE**	HCN	Maladies infectieuses et tropicales
Mr Serge **JACQUOT**	UFR	Immunologie
Mr Joël **LADNER**	HCN	Epidémiologie, économie de la santé
Mr Jean-Baptiste **LATOUCHE**	UFR	Biologie cellulaire
Mr Thomas **MOUREZ**	HCN	Virologie
Mme Muriel **QUILLARD**	HCN	Biochimie et biologie moléculaire
Mme Laëtitia **ROLLIN**	HCN	Médecine du Travail
Mr Mathieu **SALAUN**	HCN	Pneumologie
Mme Pascale **SAUGIER-VEBER**	HCN	Génétique
Mme Anne-Claire **TOBENAS-DUJARDIN**	HCN	Anatomie
Mr David **WALLON**	HCN	Neurologie

PROFESSEUR AGREGE OU CERTIFIE

Mme Dominique **LANIEZ**	UFR	Anglais – retraite 01/10/2016
Mr Thierry **WABLE**	UFR	Communication

II - PHARMACIE

PROFESSEURS

Mr Thierry **BESSON**	Chimie Thérapeutique
Mr Jean-Jacques **BONNET**	Pharmacologie
Mr Roland **CAPRON** (PU-PH)	Biophysique
Mr Jean **COSTENTIN** (Professeur émérite)	Pharmacologie
Mme Isabelle **DUBUS**	Biochimie
Mr Loïc **FAVENNEC** (PU-PH)	Parasitologie
Mr Jean Pierre **GOULLE** (Professeur émérite)	Toxicologie
Mr Michel **GUERBET**	Toxicologie
Mme Isabelle **LEROUX - NICOLLET**	Physiologie
Mme Christelle **MONTEIL**	Toxicologie
Mme Martine **PESTEL-CARON** (PU-PH)	Microbiologie
Mme Elisabeth **SEGUIN**	Pharmacognosie
Mr Rémi **VARIN** (PU-PH)	Pharmacie clinique
Mr Jean-Marie **VAUGEOIS**	Pharmacologie
Mr Philippe **VERITE**	Chimie analytique

MAITRES DE CONFERENCES

Mme Cécile **BARBOT**	Chimie Générale et Minérale
Mr Jérémy **BELLIEN** (MCU-PH)	Pharmacologie
Mr Frédéric **BOUNOURE**	Pharmacie Galénique
Mr Abdeslam **CHAGRAOUI**	Physiologie
Mme Camille **CHARBONNIER (LE CLEZIO)**	Statistiques
Mme Elizabeth **CHOSSON**	Botanique
Mme Marie Catherine **CONCE-CHEMTOB**	Législation pharmaceutique et économie de la santé
Mme Cécile **CORBIERE**	Biochimie
Mr Eric **DITTMAR**	Biophysique
Mme Nathalie **DOURMAP**	Pharmacologie

Mme Isabelle **DUBUC**	Pharmacologie
Mme Dominique **DUTERTE- BOUCHER**	Pharmacologie
Mr Abdelhakim **ELOMRI**	Pharmacognosie
Mr François **ESTOUR**	Chimie Organique
Mr Gilles **GARGALA** (MCU-PH)	Parasitologie
Mme Nejla EL **GHARBI-HAMZA**	Chimie analytique
Mme Marie-Laure **GROULT**	Botanique
Mr Hervé **HUE**	Biophysique et mathématiques
Mme Laetitia **LE GOFF**	Parasitologie – Immunologie
Mme Hong **LU**	Biologie
Mme Marine **MALLETER**	Toxicologie
Mme Sabine **MENAGER**	Chimie organique
Mme Tiphaine **ROGEZ-FLORENT**	Chimie analytique
Mr Mohamed **SKIBA**	Pharmacie galénique
Mme Malika **SKIBA**	Pharmacie galénique
Mme Christine **THARASSE**	Chimie thérapeutique
Mr Frédéric **ZIEGLER**	Biochimie

PROFESSEURS ASSOCIES

Mme Cécile **GUERARD-DETUNCQ**	Pharmacie officinale
Mr Jean-François **HOUIVET**	Pharmacie officinale

PROFESSEUR CERTIFIE

Mme Mathilde **GUERIN**	Anglais

ASSISTANT HOSPITALO-UNIVERSITAIRE

Mme Sandrine **DAHYOT**	Bactériologie

ATTACHES TEMPORAIRES D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE

Mr Souleymane **ABDOUL-AZIZE**	Biochimie
Mme Hanane **GASMI**	Galénique
Mme Caroline **LAUGEL**	Chimie organique
Mr Romy **RAZAKANDRAINIBE**	Parasitologie

LISTE DES RESPONSABLES DES DISCIPLINES PHARMACEUTIQUES

Mme Cécile **BARBOT**	Chimie Générale et minérale
Mr Thierry **BESSON**	Chimie thérapeutique
Mr Roland **CAPRON**	Biophysique
Mme Marie-Catherine **CONCE-CHEMTOB**	Législation et économie de la santé
Mme Elisabeth **CHOSSON**	Botanique
Mr Jean-Jacques **BONNET**	Pharmacodynamie
Mme Isabelle **DUBUS**	Biochimie
Mr Loïc **FAVENNEC**	Parasitologie
Mr Michel **GUERBET**	Toxicologie
Mr François **ESTOUR**	Chimie organique
Mme Isabelle **LEROUX-NICOLLET**	Physiologie
Mme Martine **PESTEL-CARON**	Microbiologie
Mme Elisabeth **SEGUIN**	Pharmacognosie
Mr Mohamed **SKIBA**	Pharmacie galénique
Mr Rémi **VARIN**	Pharmacie clinique
Mr Philippe **VERITE**	Chimie analytique

III – MEDECINE GENERALE

PROFESSEUR

Mr Jean-Loup **HERMIL**	UFR	Médecine générale

PROFESSEURS ASSOCIES A MI-TEMPS

Mr Emmanuel **LEFEBVRE**	UFR	Médecine Générale
Mme Elisabeth **MAUVIARD**	UFR	Médecine générale
Mr Philippe **NGUYEN THANH**	UFR	Médecine générale

MAITRE DE CONFERENCES ASSOCIE A MI-TEMPS

Mr Pascal **BOULET**	UFR	Médecine générale
Mr Emmanuel **HAZARD**	UFR	Médecine Générale
Mme Lucile **PELLERIN**	UFR	Médecine générale
Mme Yveline **SEVRIN**	UFR	Médecine générale
Mme Marie Thérèse **THUEUX**	UFR	Médecine générale

ENSEIGNANTS MONO-APPARTENANTS

PROFESSEURS

Mr Serguei **FETISSOV** (med)	Physiologie (ADEN)
Mr Paul **MULDER** (phar)	Sciences du Médicament
Mme Su **RUAN** (med)	Génie Informatique

MAITRES DE CONFERENCES

Mr Sahil **ADRIOUCH** (med)	Biochimie et biologie moléculaire (Unité Inserm 905)
Mme Gaëlle **BOUGEARD-DENOYELLE** (med)	Biochimie et biologie moléculaire (UMR 1079**)**
Mme Carine **CLEREN** (med)	Neurosciences (Néovasc)
M. Sylvain **FRAINEAU** (phar)	Physiologie (Inserm U 1096)
Mme Pascaline **GAILDRAT** (med)	Génétique moléculaire humaine (UMR 1079)
Mr Nicolas **GUEROUT** (med)	Chirurgie Expérimentale
Mme Rachel **LETELLIER** (med)	Physiologie
Mme Christine **RONDANINO** (med)	Physiologie de la reproduction
Mr Antoine **OUVRARD-PASCAUD** (med)	Physiologie (Unité Inserm 1076)
Mr Frédéric **PASQUET**	Sciences du langage, orthophonie
Mme Isabelle **TOURNIER** (med)	Biochimie (UMR 1079)

CHEF DES SERVICES ADMINISTRATIFS : Mme Véronique **DELAFONTAINE**

HCN - Hôpital Charles Nicolle	*HB - Hôpital de BOIS GUILLAUME*
CB - Centre Henri Becquerel	*CHS - Centre Hospitalier Spécialisé du Rouvray*
CRMPR - Centre Régional de Médecine Physique et de Réadaptation	*SJ – Saint Julien Rouen*

Par délibération du jury en date du 3 mars 1967, la faculté a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

Remerciements

Au président du jury :

A Monsieur le Professeur Jean-Nicolas DACHER,

Merci de me faire l'honneur de présider mon jury de thèse, vous qui m'avez accueilli il y a bientôt 5 ans dans votre service. Votre disponibilité et vos qualités d'enseignement sont admirables. Je suis heureux d'avoir pu participer avec vous à différents projets au cours de mon internat et espère en initier de nouveaux lors de mon clinicat.

Aux membres du jury :

A Monsieur le Docteur Pierre-Hugues VIVIER,

Je te remercie de m'avoir proposé ce travail lors de mon semestre en radio pédiatrie et de l'avoir dirigé. Merci pour ta disponibilité, ton encadrement et ta patience. Travailler avec toi fût un réel plaisir.

A Madame le Professeur Céline SAVOYE-COLLET,

Merci de me faire l'honneur de juger mon travail. Je vous suis reconnaissant pour votre encadrement lors de mon premier trinôme et pour l'ensemble de vos conseils au cours de mon cursus. J'ai hâte d'intégrer votre pôle d'imagerie.

A Monsieur le Professeur Emmanuel GERARDIN,

Merci pour votre rigueur et votre investissement dans la formation des internes en tant que coordonnateur. Bien que la neuro radiologie ne soit pas ma discipline de prédilection, je vous remercie pour ce semestre formateur.

Aux pédiatres ayant participé à ce travail : Mariette Renaux-Petel (merci pour ton investissement et ta disponibilité), Diane Comte et le Professeur Agnès Liard.

Aux radiologues du CHU qui ont participé à ma formation :

Adrien, Benjamin, Caroline, Cécile M, Cécile P, Clément, Ebticem, Edith, Eléonore, Ioana, Isabelle, Jean-Pierre, Laurent, Marie, Marta, Nico, Nolwenn, Paul, Rodolphe, Sofiane, Valentin et Valérie.

Aux manipulateurs radio, sans vous notre métier ne serait pas possible. Merci pour votre aide au quotidien.

Aux secrétaires et PACSmen que j'ai, de nombreuses fois, sollicité durant ces années d'internat !

Merci Yohann pour ton aide et ta disponibilité.

Aux services de radiologie du Havre et d'Elbeuf.

Aux nucléaristes de Becquerel avec lesquels j'ai eu la chance de travailler. Merci de m'avoir tant appris sur votre spécialité.

A Fayez, mon frérot, on les a commencées ensemble ces études de médecine, pour moi, elles touchent au but… Tu as été présent dans les grands moments de ma vie ces 15 dernières années. Je te souhaite tout le meilleur…

A Ornella, merci pour ton soutien et nos sous colles durant ces études à Bobigny.

A mes co-interne de médecine :

Caroline, Pierre, Matthias, Lucie, Hélène, Nicolas, Laura, Alexandra et Anna.

<u>A mes co internes de radio :</u>

Les plus vieux : Anne-Sophie (merci pour les Picc), Gregory, Manu et Sam.

Armonie, Dorothée, Hélène, Kevin, Malek (sans toi ces 2 semestres auraient été si différents !), Micha (merci pour les cours d'ORL), Grégoire et Sophie.

Raph merci pour functool ! Ça marche pas si mal finalement le tenseur !

Adnan merci pour ces moments passés en stage et en dehors. Merci pour ce que tu m'as appris en radio et au golf ! Je vous souhaite plein de bonheurs à venir…

A mes co-internes de promo :

JLM avec qui j'ai passé mon 1er stage de radio, j'espère que ta fille ne fouillera jamais dans ton portable !

Agathe avec qui j'ai fait tous mes trinômes. Tu m'auras même suivi jusqu'à Elbeuf, tu vois que j'ai bien fait de venir à Rouen !

Julien, merci pour ce stage de radio ped passé ensemble.

Mais également Julie, Pauline, Claire et Perrine.

Aux plus jeunes avec lesquels j'ai eu la chance de bosser :

David, Poiscaille (le blagueur de l'A150 !), MDM, Etienne, Lucas, Benjamin, Mikael, Matthieu, Ghislain, Martin, Anabel, Tatiana, Morgane et Abdé.

A tous les habitués de la salle de staff... Content de l'avoir découvert lors de mon stage de radio ped…

A tous ceux que j'ai oublié…

Merci au Dr Lame pour cette échographie que tu m'as faite il y a bien longtemps. En un instant, par tes explications, tu m'as fait aimer ton métier.

10 ans plus tard, un de tes associés, Patrick Laugareil, m'a accueilli en stage d'observation. Patrick, ta passion pour ce métier est sans pareil et tu as su me la transmettre. Tu as tout mis en œuvre pour que je découvre ton métier de médecin…

10 ans plus tard, je choisissais d'exercer la même spécialité…

Frédérick et toi étiez toujours disponible pour enrichir mes connaissances.

Aujourd'hui, je souhaite te remercier Patrick car ta passion est devenue mienne et je deviens aujourd'hui radiologue…

A ma famille :

Papa, Maman, merci pour tous ces sacrifices que vous avez consentis à faire pour nous trois. Je ne peux que vous être reconnaissant. Sans vous je n'en serais jamais arrivé là. C'est à vous que je dédie ce travail. Je vous aime.

Alexandra, tu vois, j'ai aussi une petite part de pédiatre en moi !

Cathleen, je suis fier de ta réussite et de la passion avec laquelle tu exerces ton métier.

Je vous souhaite plein de bonheur dans vos vies de couples avec mes beaux-frères !

A mes grands-mères et arrière grands-mères à qui je pense souvent…

A papi et mamie Trégunc, vous m'avez donné le sens du travail.

A ma famille qui vit sur un autre continent, puissions-nous tisser des liens de plus en plus fort malgré la distance.

A mes belles familles :

Merci pour votre soutien depuis le début de ces études de médecine.

A Priscilla :

Tu m'accompagnes depuis le début de ces études de médecine.

Merci pour ta présence, ta patience, ton soutien et ton amour.

Tu m'as offert le plus beau des présents avec la naissance de notre fille, Julia, l'an passé.

Puissiez-vous être aussi fier de moi que je peux l'être de vous…

Je vous aime

Table des matières

Liste des abréviations 18

I. Introduction 19

II. Matériels et méthodes 23

A. Caractéristiques de l'étude 23

B. Les patients 23

C. Technique et protocole d'IRM 24

D. Analyse des données 26

E. Analyse statistique 28

III. Résultats 30

IV. Discussion 41

V. Conclusion 45

VI. Annexes 46

VII. Références bibliographiques 52

Liste des abréviations

ADC :	Apparent diffusion coefficient
CNR :	Contrast to noise ratio
CRP :	Protéine C réactive
DMSA :	Acide dimercaptosuccinique
DTI :	Diffusion tensor imaging
DWI :	Diffusion weighted imaging
ECBU :	Examen cyto-bactériologique des urines
IRM :	Imagerie par résonnance magnétique
mSv :	Milli Sievert
NICE :	National Institute for Health and Care Excellence
^{99m}Tc :	Technétium 99m

I. Introduction

Les infections urinaires sont très fréquentes chez les enfants et peuvent être une cause de fièvre sans point d'appel clinique. L'incidence cumulée de ces infections dans les 6 premières années de vie s'élève à 6,6% chez les filles et 1,8% chez les garçons (1).

La pyélonéphrite (infection urinaire haute) est définie comme l'infection du parenchyme rénal (2).

Une échographie réno-vésicale est recommandée chez les enfants présentant une pyélonéphrite afin d'exclure un facteur de risque tel qu'une uropathie, notamment une dilatation, ou une complication telle qu'un abcès ou une pyonéphrose. Cette imagerie est selon les recommandations soit systématique, soit réalisée si aucune amélioration n'est observée dans les 48h suivant l'initiation de l'antibiothérapie.

L'existence d'un reflux vésico-urétéral est un facteur de risque retrouvé chez un enfant sur trois souffrant d'infections urinaires (3). Il est important de détecter les reflux vésico-urétéraux de haut grade (III, IV, V) au décours de ces épisodes infectieux car ils présentent un risque potentiel de complications à long terme. La cystographie est la méthode de référence pour évaluer l'existence d'un reflux vésico urétéral (4). Mais 60% des enfants atteints de pyélonéphrite récidivante ont une cystographie normale sans reflux visible ; on considère qu'il s'agit d'un reflux intermittent (5). De plus, il s'agit d'un geste invasif, non dénué d'effets indésirables. Une thèse de médecine (Dr A. Hassani) menée dans notre service, rapporte notamment un taux de pyélonéphrite nosocomiale post cystographique de 1,4%. Elle expose également à une irradiation dont la dose chez l'enfant de moins de 10 ans est de 0,1 à 0,55mSv (6).

La « top-down approach » initiée au début des années 2000 consiste à rechercher, à la phase aiguë de l'infection, une atteinte du parenchyme rénal et incite seulement en cas d'anomalie, à effectuer une cystographie au décours. Le but de cette approche est de limiter le nombre de cystographies. Si l'échographie est normale, ce qui est souvent le cas du fait de sa sensibilité moyenne, estimée entre 48 et 56,6% pour détecter les foyers de néphrite (7,8), une scintigraphie au ^{99m}Tc-DMSA est effectuée. La cystographie n'est alors réalisée qu'en cas d'anomalie scintigraphique. Cette approche est susceptible d'identifier la grande majorité des enfants qui pourraient bénéficier d'une prise en charge du reflux (9).

Cependant, la dose de radiation d'une scintigraphie au ^{99m}Tc-DMSA est approximativement d'1mSv (10), soit 10 à 20 fois plus qu'une cystographie rétrograde. Il s'agit d'un examen réalisé dans les services de médecine nucléaire, fréquemment en dehors des services d'hospitalisations pédiatriques, dans des centres de lutte contre le cancer, d'accès difficile. Par ailleurs sa résolution spatiale est faible, et il n'est pas toujours aisé de distinguer si une région photopénique est liée à une néphrite aigüe, à une cicatrice ou à un kyste.

Bien qu'elle soit encore considérée comme la méthode de référence pour diagnostiquer une pyélonéphrite en imagerie, son utilisation dans le cadre de l'évaluation systématique des enfants présentant un premier épisode de pyélonéphrite n'est pas recommandée par l'Académie Américaine de Pédiatrie (recommandations AAP 2011).

Des recommandations plus récentes, diffèrent quant à la place de la cystographie dans le bilan d'infection urinaire fébrile :

- **Recommandations de l'Association Européenne d'Urologie et de la Société Européenne d'Urologie Pédiatrique (EAU/ESPU) de 2015** : cystographie (ou scintigraphie au ^{99m}Tc-DMSA) systématique en cas de premier épisode de pyélonéphrite sauf chez le garçon de plus de 12 mois sans anomalie échographique (11).

- **Recommandations de l'Académie Américaine de Pédiatrie (AAP) de 2011** : pas de cystographie systématique après un premier épisode de pyélonéphrite. Elle est indiquée en cas de récidive, de situation atypique, complexe ou si l'échographie retrouve une dilatation pyélique, une cicatrice rénale ou une autre anomalie suggérant un reflux vésico urétéral de haut grade ou une uropathie obstructive (12).

- **Recommandations Anglaises (NICE guidelines) de 2007** (13) :

    - Cystographie chez les enfants de moins de 6 mois si pyélonéphrite atypique (infection sérieuse, faible jet urinaire, masse abdominale ou vésicale, élévation de la créatininémie, septicémie, absence de réponse à 48h d'une antibiothérapie adaptée, infection non à E.Coli) ou récidivante (≥2 pyélonéphrites, 1 pyélonéphrite et ≥1 épisode infection urinaire basse, ≥3 épisodes d'infection urinaire basse)

- Cystographie chez les enfants de 6 mois à 3 ans en cas de dilatation échographique, de faible jet urinaire, d'infection à un autre germe qu'E.Coli ou en cas d'histoire familiale de reflux vésico urétéral.
- La cystographie n'est pas recommandée après l'âge de 3ans.

Une équipe Australienne, ayant réalisé de manière systématique une cystographie chez 168 enfants au décours d'un épisode de pyélonéphrite, retrouvait 30 reflux de haut grade. L'utilisation des recommandations Américaines en aurait potentiellement raté 15 tandis que l'application des recommandations anglaises en aurait raté 17 (14). En France, les recommandations (2014-2015) de la société de pathologie infectieuse de langue française sur la prise en charge des infections urinaires préconise de ne pas réaliser de cystographie après un premier épisode de pyélonéphrite, sauf situations particulières. L'Association Française d'Urologie (AFU) quant à elle n'a pas tranché et la prise en charge dépend des habitudes locales.

L'utilisation de l'IRM dans le diagnostic des pyélonéphrites est étudiée depuis le début des années 2000. Son intérêt potentiel était notamment souligné dans les recommandations de la société européenne de radiologie pédiatrique en 2008 (15).

L'IRM avec injection de gadolinium apparaissait tout aussi sensible et fiable que la scintigraphie au DMSA pour la détection de pyélonéphrite aigue (16). Il était même évoqué un taux de détection supérieur (17).

L'imagerie de diffusion IRM (DWI) étudie les mouvements des molécules d'eau. Si les protons sont moins mobiles, un hyper signal est observé sur l'image pondérée en diffusion (Annexe 1).

Les lésions de pyélonéphrite aigüe et les abcès limitent la diffusion des molécules d'eau et se manifestent par un hyper signal sur l'IRM de diffusion (18,19). Cette séquence a une fiabilité diagnostique comparable aux séquences T1 après injection de gadolinium, pour identifier les foyers de pyélonéphrite aigüe (20,21). L'IRM de diffusion est un outil diagnostic des pyélonéphrites chez l'enfant, sans irradiation ni exposition au risque de fibrose systémique néphrogénique (effet secondaire potentiel lié à l'injection de gadolinium) (22). De plus l'IRM sans injection est facturée 242,11€ contre 268,87€ pour la scintigraphie au ^{99m}Tc-DMSA.

Cependant les mouvements respiratoires des reins nécessitent en IRM l'emploi d'une synchronisation respiratoire qui rallonge en pratique le temps de la séquence d'environ 50%. Par ailleurs, la synchronisation respiratoire est souvent techniquement difficile compte tenu de la faible ampliation thoracique des enfants, et plus particulièrement chez les nourrissons. Ainsi les résultats sont régulièrement sous-optimaux. La qualité de la synchronisation est également mauvaise en cas de pleurs.

Le tenseur de diffusion par l'application d'au moins 6 directions de gradients de diffusion contre 3 pour la diffusion classique, permet d'étudier les propriétés de diffusion d'un volume (23,24) (Annexe 2). Le tenseur de diffusion est utilisé généralement pour connaitre la direction privilégiée des molécules d'eau le cas échéant, notamment le long des gaines de myéline (25), des tubules dans la médullaire rénale (26), ou encore le long des fibres musculaires (27). Elle nécessite également l'utilisation d'une synchronisation respiratoire pour étudier les reins. Nous avons eu l'idée de ne pas utiliser le tenseur dans ce but, mais de l'utiliser en raison de ses multiples acquisitions (telles de multiples photos) et de moyenner ces acquisitions pour obtenir une seule image. Le but était donc de s'affranchir de l'utilisation chronophage de la synchronisation respiratoire qui est souvent difficile voire décevante chez les enfants, et d'obtenir 6 acquisitions (par l'utilisation minimale de 6 directions) sans synchronisation respiratoire et de reconstruire une image moyenne, sachant qu'un foyer de pyélonéphrite n'est pas millimétrique. Cette technique permet un gain de temps sur la durée d'acquisition, la synchronisation respiratoire n'étant utilisée que pour les séquences morphologiques.

L'objectif de ce travail est d'évaluer les performances diagnostiques du tenseur de diffusion sans synchronisation respiratoire comparativement à la diffusion classique avec synchronisation dans le diagnostic de pyélonéphrite aiguë chez l'enfant en IRM.

II. Matériels et méthodes

A. Caractéristiques de l'étude

Cette étude a été menée de manière rétrospective au CHU de Rouen chez des enfants admis pour suspicion de 1ère pyélonéphrite, et explorés par IRM entre Septembre 2014 et Octobre 2016.

L'objectif principal de l'étude était d'évaluer les performances diagnostiques de la séquence du tenseur de diffusion sans synchronisation respiratoire dans le diagnostic de pyélonéphrite aiguë chez l'enfant. La méthode de référence était une séquence de diffusion avec synchronisation respiratoire.

Les objectifs secondaires étaient d'évaluer la durée de cette séquence et le contraste sur bruit (CNR).

B. Les patients

L'identification des patients a été effectuée à partir du PACS.

Les critères d'inclusion étaient :

-Enfants de 6 mois à 16 ans, suspects de 1ère pyélonéphrite aiguë, sans uropathie

ET

-ECBU positif avec une échographie réno-vésicale normale

OU

-ECBU douteux

OU

-Prise d'une antibiothérapie avant réalisation de l'ECBU

OU

-Une évolution clinique défavorable à 48h de l'antibiothérapie

OU

-Une fièvre inexpliquée

Les critères d'exclusion étaient :

-Contre-indication à l'IRM

C. Technique et protocole d'IRM

Tous les patients ont été explorés par une IRM 1.5 Tesla (Signa Horizon CVi ; General Electric, Milwaukee).

En fonction de l'âge de l'enfant, une sédation légère était prescrite selon le protocole du service (Atarax® - Hydroxyzine per os).

Après réalisation de séquence de repérage, des séquences en pondération T2 avec saturation de la graisse (T2 Fat Sat), ont été acquises en coupes coronales obliques. Des séquences de diffusion étaient ensuite acquises en coupes axiales et coronales obliques (à b = 0 et b = 1100 s/mm^2). En cas de suspicion d'abcès une acquisition en coupes axiales T2 Fat Sat était ajoutée. Ces séquences étaient réalisées avec synchronisation respiratoire compte tenu de la sensibilité rénale aux mouvements respiratoires dans le sens cranio caudal.

Puis une séquence en tenseur de diffusion était acquise dans 6 directions (à b = 0 et b = 1100 s/mm^2) sans synchronisation respiratoire.

Aucune injection de produit de contraste n'était réalisée.

Le comportement de l'enfant ainsi que la durée réelle d'acquisition de ces séquences étaient archivées.

Les paramètres d'acquisition de ce protocole sont détaillés dans le *Tableau 1* ci-dessous.

	Coronale T2	Axiale T2	Coronale diffusion	Axiale diffusion	Tenseur de diffusion
Type	FSE	FSE	Echoplanar SE	Echoplanar SE	Echoplanar SE
2D/3D	2D	2D	2D	2D	2D
TR (ms)	7550	8725	6440	8790	6000
TE (ms)	120	120	74	74	90
Angle de bascule (°)	90	90	90	90	90
Valeurs de b	-	-	0 - 1100	0 - 1100	0 - 1100
Nombre de directions de diffusion	-	-	3	3	6
Bande passante (Hz/pixel)	260	260	1953	1953	1953
Imagerie Parallèle	+	+	+	+	+
Facteur d'accélération	2	2	2	2	2
Saturation de la graisse	+	+	-	-	-
Nombre de coupes	18	25	15	20	20
Epaisseur de coupe (mm)	4	4	5	6	6
Espace inter-coupe (mm)	4,5	4,5	5	6	6
FOV	370x300	370x300	400x360	400x200	400X200
Matrice d'acquisition	352x192	352x192	80x128	80x128	80X128
Interpolated matrix	512x512	512x512	256x256	256x256	256X256
Trigger respiratoire	+	+	+	+	-
Durée d'acquisition théorique	56 s	56 s	120 s	166 s	258 s
Durée moyenne effective d'acquisition (fonction du cycle respiratoire)	96 s	151 s	165 s	272 s	258 s

<u>Tableau 1</u> *Paramètres d'acquisition pour un protocole standard d'IRM diagnostic de pyélonéphrite sur une 1.5T - FOV : Field of view ; FSE : Fast Spin Echo ; SE : Spin Echo*

D. Analyse des données

Les séquences ont été interprétées indépendamment les unes des autres par deux lecteurs en aveugle (un radiologue junior et un radiopédiatre sénior avec 12 ans d'expérience dans l'IRM rénale), sans connaissance du dossier clinique.

Pour chaque patient la lecture des images était faite de façon séparée pour les 2 types de séquences : diffusion et tenseur de diffusion.

Pour s'affranchir du biais de mémorisation et interpréter chaque séquence indépendamment de l'autre, les images ont été lues à différents moments par les deux lecteurs.

Pour les séquences en diffusion (b = 1100 s/mm^2), les anomalies de signal étaient retenues uniquement si elles étaient de même topographie sur les coupes axiales et coronales.

Les séquences de diffusion correspondaient à la méthode de référence pour la détection des foyers de (pyélo)-néphrite. Ceux-ci se manifestant par un hyper signal a *b* élevé.

Afin de comparer les deux types de séquences, nous avons analysé pour chaque rein la présence de lésions ou non. Pour une analyse plus fine, les reins ont été divisés en trois zones : supérieure, moyenne et inférieure. L'existence ou non (réponse binaire) d'un foyer de néphrite était noté.

Après analyse des résultats des deux observateurs, une seconde lecture effectuée par les deux observateurs était faite de façon conjointe pour analyser les discordances afin d'obtenir un consensus pour toutes les séquences (*Figure 1*).

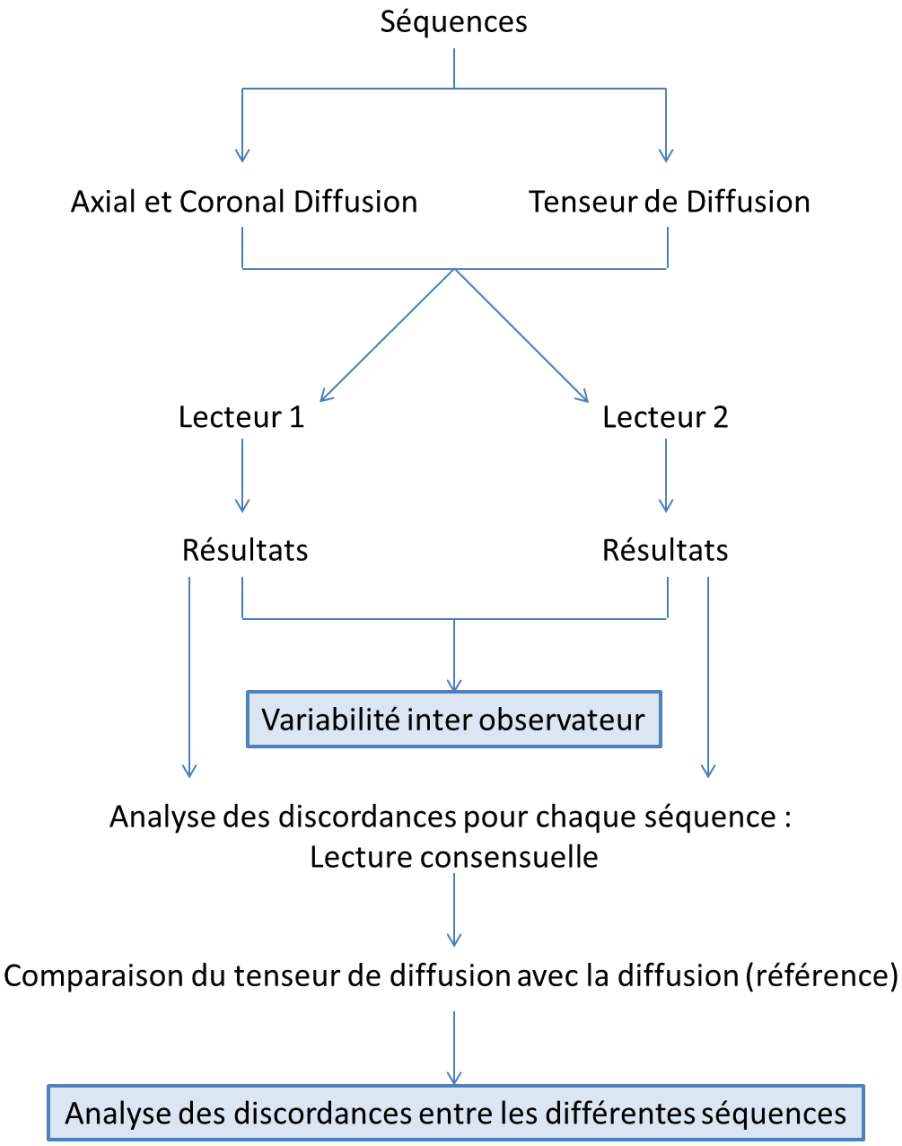


Figure 1 *Diagramme de lecture des séquences IRM par les 2 lecteurs*

La qualité des images a été évaluée par chaque observateur sur une échelle de 1 à 3 :

- Score 1 = excellente
- Score 2 = images correctes (évaluables mais présence d'artéfacts)
- Score 3 = images non interprétables (importants artéfacts ne permettant pas l'interprétation)

E. Analyse statistique

La qualité des images des séquences de diffusion et du tenseur de diffusion ont été comparés par l'utilisation d'un test de Wilcoxon signé (Wilcoxon signed rank test).

La concordance entre les données des différentes séquences IRM a été évaluée par le coefficient de concordance Kappa (κ) et par le test de McNemar.

Les intervalles de confiance à 95% (IC) des valeurs de κ ont été calculés. La concordance en fonction de la valeur κ a été définie comme suit (28) :

- κ > 0,75 : excellente,
- κ = 0,40 à 0,75 : bonne à moyenne,
- κ < 0,40 : faible.

La reproductibilité inter-observateurs a été également évaluée par le coefficient kappa et par le test de McNemar. Les valeurs de *p* inférieures à 0,05 ont été considérées comme significatives.

La sensibilité, la spécificité, la valeur prédictive positive, la valeur prédictive négative et les intervalles de confiance à 95% du tenseur de diffusion ont été calculés.

La durée réelle des acquisitions a été comparée par l'utilisation d'un test de Wilcoxon signé.

Le CNR (Contrast to noise ratio ou rapport contraste sur bruit) a été étudié pour chaque foyer de néphrite sur la séquence de diffusion et du tenseur de diffusion. Une ROI (Region of interest) était placée dans la région en hypersignal diffusion (foyer de néphrite) dans le plan axial et propagée à l'image moyenne ou isotropique dans le plan axial obtenue à partir des 6 gradients du tenseur de diffusion. Aucun seuillage n'était réalisé pour l'obtention de cette image moyenne ou isotropique.

Le CNR était obtenu pour chacune des deux séquences par la formule suivante (29,30) :

$$\mathrm{CNR} = \frac{Avg\ foyer\ néphrite - Avg\ zone\ saine}{\sqrt{SD\ foyer\ néphrite^2 + SD\ zone\ saine^2}} = \sqrt{\frac{(Avg\ foyer\ néphrite\ - Avg\ zone\ saine)^2}{SD\ foyer\ néphrite^2 + SD\ zone\ saine^2}}$$

Avg = Average ou valeur moyenne, SD = Standard deviation ou écart type

La différence de CNR entre les images obtenues par le tenseur de diffusion et la diffusion classique a été évaluée par un test de Wilcoxon signé.

L'analyse statistique a été effectuée par un logiciel de statistique disponible dans le commerce (MedCalc Software, MedCalc, Mariakerke, Belgique).

III. Résultats

33 patients ont été inclus dans l'étude, cinq d'entre eux ont été exclus de l'analyse.

Trois patients ont été exclus malgré prémédication : deux d'entre eux en raison d'images ininterprétables, le troisième en l'absence de consensus. Malgré une prémédication par Atarax®, ces trois enfants pleuraient lors des acquisitions. Un patient, pour lequel l'examen a été réalisé après privation de sommeil sans Atarax®, a été exclus en raison d'images ininterprétables sur la diffusion, cet enfant pleurait également pendant les acquisitions. Le dernier patient a été exclus en l'absence de consensus. Ces données sont résumées dans le diagramme de flux (*Figure 2*).

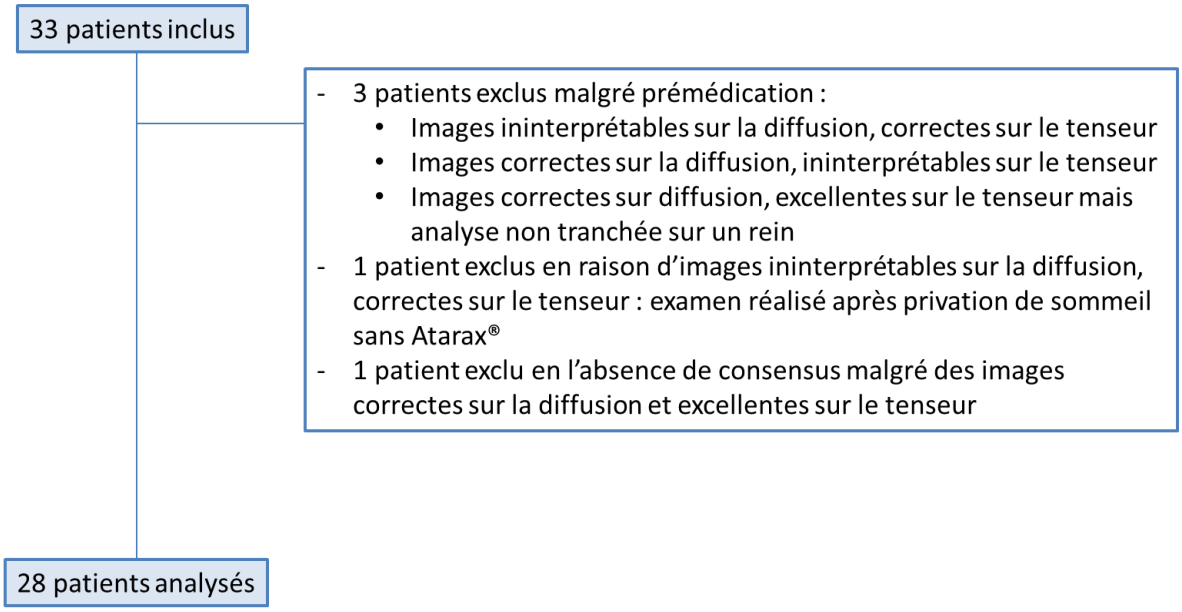


Figure 2 *Diagramme de flux*

Les indications retenues chez ces 28 patients étaient :

- Pour 18 patients (64,3%) un ECBU positif avec une échographie réno-vésicale normale (absence de foyer de néphrite). L'échographie rapportait une pyélite chez deux de ces patients.
- Pour 3 patients (10,7%) un ECBU douteux.
- Pour 2 patients (7,1%) la prise d'une antibiothérapie avant réalisation de l'ECBU.
- Pour 2 patients (7,1%) une réponse clinique défavorable à 48h de l'antibiothérapie.
- Pour 3 patients (10,7%) un bilan de fièvre inexpliquée.

Les observateurs ont jugé la qualité d'image à 1,52 (+/- 0,37) pour les séquences de diffusion et à 1,09 (+/- 0,27) pour le tenseur de diffusion. La qualité des séquences du tenseur de diffusion était significativement supérieure à celle des séquences de diffusion ($p < 0,001$).

Les données démographiques des 28 patients analysés sont décrites dans le *Tableau 2* ci-dessous.

Nombre de patients	28
Garçons	7 (25%)
Age moyen (min-max)	4,33 ans (0,67 - 14,35)
Pic de température moyenne (min-max)	39,9°C (38,3 - 42)
CRP moyenne (min-max)	96,8 mg/L (<5 - 219)
Leucocytose moyenne (min-max)	14,9 G/L (4,5 - 25,6)
ECBU positif	18 (64,3%)
E.Coli	14 (77,8%)

Tableau 2 *Caractéristiques des patients*

Sur les vingt-huit patients (55 reins, un enfant ayant un antécédent de néphrectomie pour néphroblastome), après une lecture consensuelle par les deux observateurs, 21 patients présentaient au moins un foyer de néphrite sur la séquence de diffusion, avec une atteinte bilatérale chez 7 d'entre eux, ce qui correspondait à 28 reins (50,9%) avec un hypersignal relatif en axial et en coronal par rapport au parenchyme sain. Sur les 165 tiers de rein, 68 (41,2%) étaient le siège de foyer de néphrite sur les séquences de diffusion. Avant la lecture consensuelle, 1 rein a été jugé normal par un observateur sur la diffusion et anormal par l'autre, et 6 (3,6%) zones ont été classées différemment par les deux observateurs.

Les anomalies en T2 correspondaient à des hyper ou des hyposignaux. Les anomalies en diffusion étaient toujours hyper intenses sur les images avec un b = 1100 s/mm^2 et systématiquement associées à une baisse de l'intensité du signal sur les cartographies ADC (Apparent Diffusion Coefficient). Ainsi les hypersignaux n'étaient pas liés à un effet T2 mais à une véritable diminution de la diffusion des molécules d'eau au sein des foyers de néphrites.

La concordance, après consensus, entre la séquence du tenseur de diffusion et les séquences de référence (axial et coronal diffusion) par rein était excellente (κ=0.96), et aucune différence diagnostique significative n'a été mise en évidence (p=1) (*Tableau 3*).

Les séquences du tenseur de diffusion avaient une excellente sensibilité (100%) et spécificité (≥ 94,8%). La reproductibilité inter-observateur était meilleure avec la séquence de diffusion (κ ≥ 0,93) qu'avec le tenseur (κ ≥ 0,83) (*Tableau 4*). Seuls les valeurs par tiers de rein étaient statistiquement significatives.

		Tenseur de diffusion	
		+	-
	Diffusion		
	+	28	0
	-	1	26
Par rein (n=55)	Sensibilité (95% IC)	100% (87,9 - 100)	
	Spécificité (95% IC)	96,3% (81,7 - 99,3)	
	VPP (95% IC)	96,55% (89,91 - 100)	
	VPN (95% IC)	100% (-)	
	Valeur de κ (95% IC)	0,9636 (0,8929 - 1)	
	Valeur de p†	1	

		Tenseur de diffusion	
		+	-
	Diffusion		
	+	68	0
	-	5	92
Par zone de rein (n=165)	Sensibilité (95% IC)	100% (94,7 - 100)	
	Spécificité (95% IC)	94,8% (88,5 - 97,7)	
	VPP (95% IC)	93,15% (87,35 - 98,945)	
	VPN (95% IC)	100% (-)	
	Valeur de κ (95% IC)	0,9381 (0,8847 - 0,9915)	
	Valeur de p†	0,0736	

Tableau 3 *Comparaison de la détection des lésions rénales entre le tenseur de diffusion et les séquences de diffusion*

*VPP = valeur prédictive positive, VPN = valeur prédictive négative, IC = intervalle de confiance à 95%. * Excellente concordance si κ > 0,75, bonne à moyenne si κ = 0,40 - 0,75, faible concordance si κ < 0,40.* † Calculé avec le test de McNemar.

Séquences		Valeur κ*	IC à 95%	Valeur de *p*†
Diffusion	Par rein	0,96	0,89 - 1	1
	Par tiers de rein	0,93	0,87 - 0,98	0,04
Tenseur de diffusion	Par rein	0,85	0,71 - 0,99	0,13
	Par tiers de rein	0,83	0,75 - 0,92	< 0,001

Tableau 4 *Reproductibilité inter-observateur*

*IC = intervalle de confiance à 95%. * Excellente concordance si κ > 0,75, bonne à moyenne si κ = 0,40 - 0,75, faible concordance si κ < 0,40.* † Calculé avec le test de McNemar.

Il existait plus de zones de néphrite sur les séquences du tenseur de diffusion que sur les séquences de diffusion (73 vs 68). Sur 165 zones, 5 (3,03%) étaient discordantes entre les séquences du tenseur et de diffusion.

Trois zones apparaissaient en hypersignal sur la diffusion coronale mais étaient classées négatives en axial tandis qu'elles étaient positives sur le tenseur. L'analyse du rein n'en était pas pour autant modifiée avec un rein restant positif pour ces deux patients. Ces deux enfants étaient calmes lors de l'acquisition avec une qualité d'image jugée excellente (*Figure 3*).

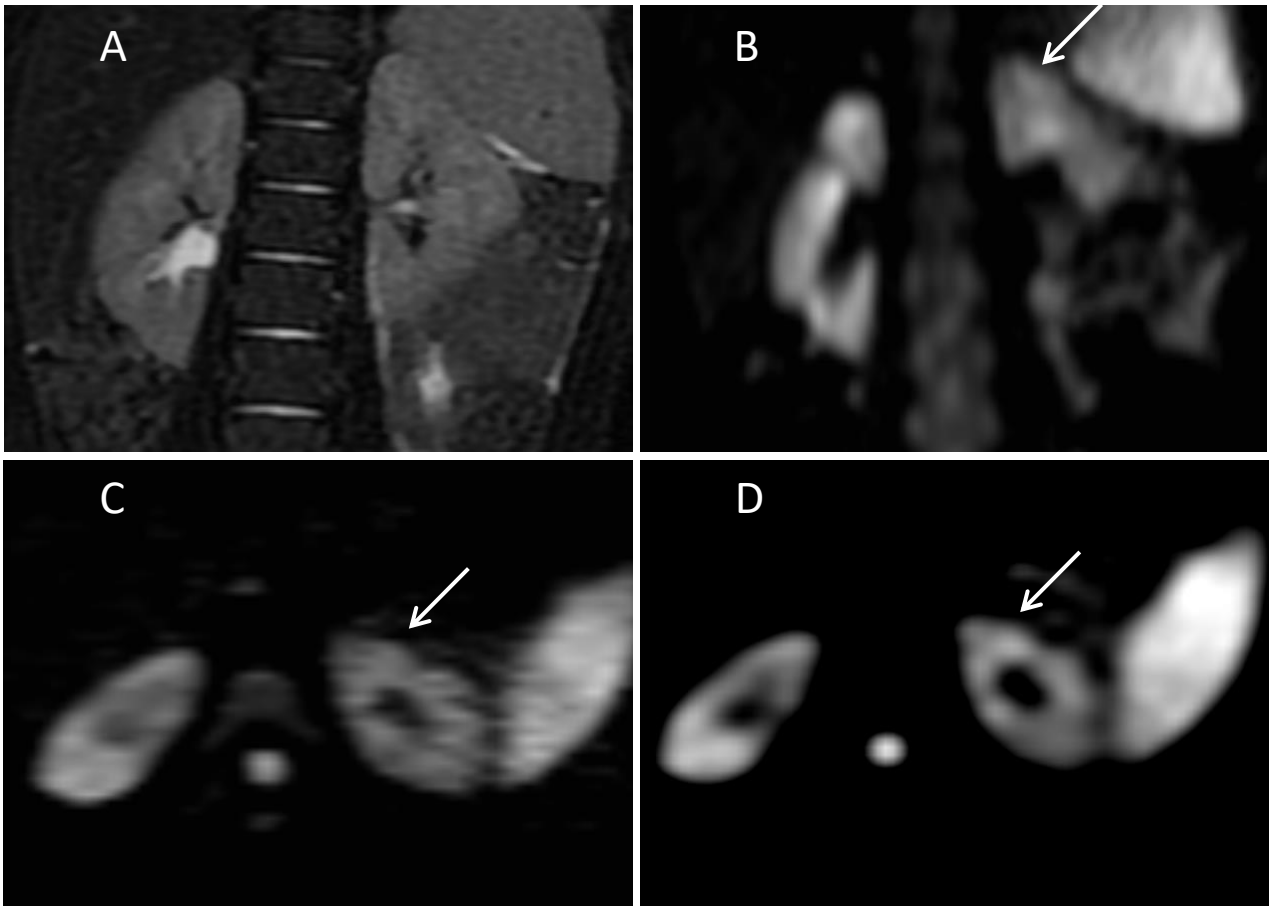


Figure 3 *Lésions visibles sur le tenseur et la diffusion coronale, non visibles sur la diffusion axiale.*

Séquences (A) coupe coronale T2, (B) coronale diffusion, (C) axiale diffusion*, (D) axiale tenseur de diffusion*. *(b=1100 s/mm^2)*

Les deux autres zones classées positives sur le tenseur étaient les zones supérieures et moyenne d'un 3ème patient. Sur la diffusion axiale, les zones supérieures et inférieures étaient en hypersignal sans anomalies sur l'acquisition coronal. Ce patient était donc le seul faux positif du tenseur par rein. Cette enfant de deux ans pleurait lors de toutes les acquisitions malgré une prémédication par Atarax®. Les séquences étaient jugées excellente pour le tenseur et correctes (score 2) pour la diffusion (*Figure 4*).

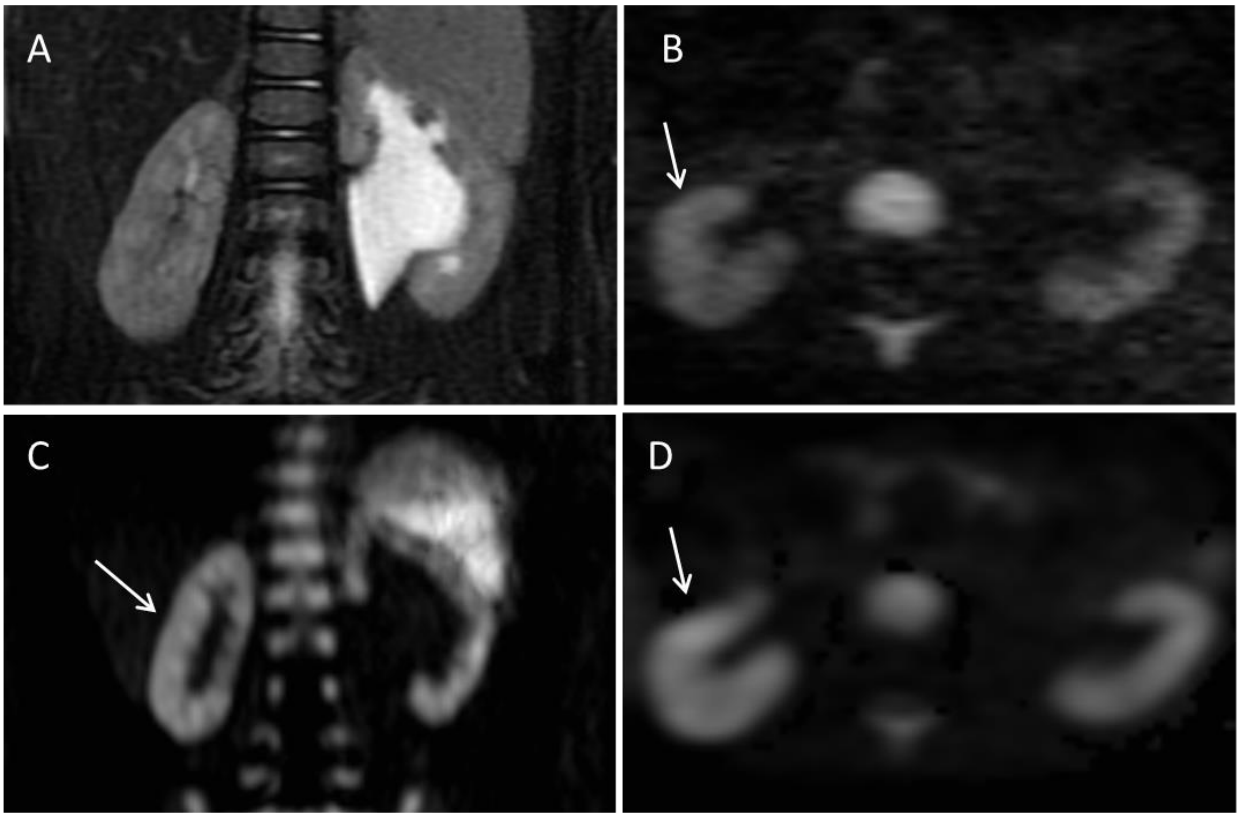


Figure 4 *Lésions visibles sur le tenseur (au tiers moyen) sans manifestation en diffusion. A noter une différence de qualités entre les séquences.*

Séquences (A) coupe coronale T2, (B) axiale diffusion, (C) coronale diffusion*, (D) axiale tenseur de diffusion*. *(b=1100 s/mm^2)*

Au total, sur les 5 zones discordantes au moins *3* pouvaient être considérées comme correctement quottées sur la séquence du tenseur de diffusion.

Sur l'ensemble des patients, trois avaient des abcès ou des micro-abcès. Sur la séquence T2, ces lésions apparaissaient systématiquement comme des zones en hypersignal bordées par un hyposignal. Elles s'associaient à un hypersignal en diffusion associé à une baisse de l'ADC en rapport avec une restriction de la diffusion (*Figure 5 et 6*).

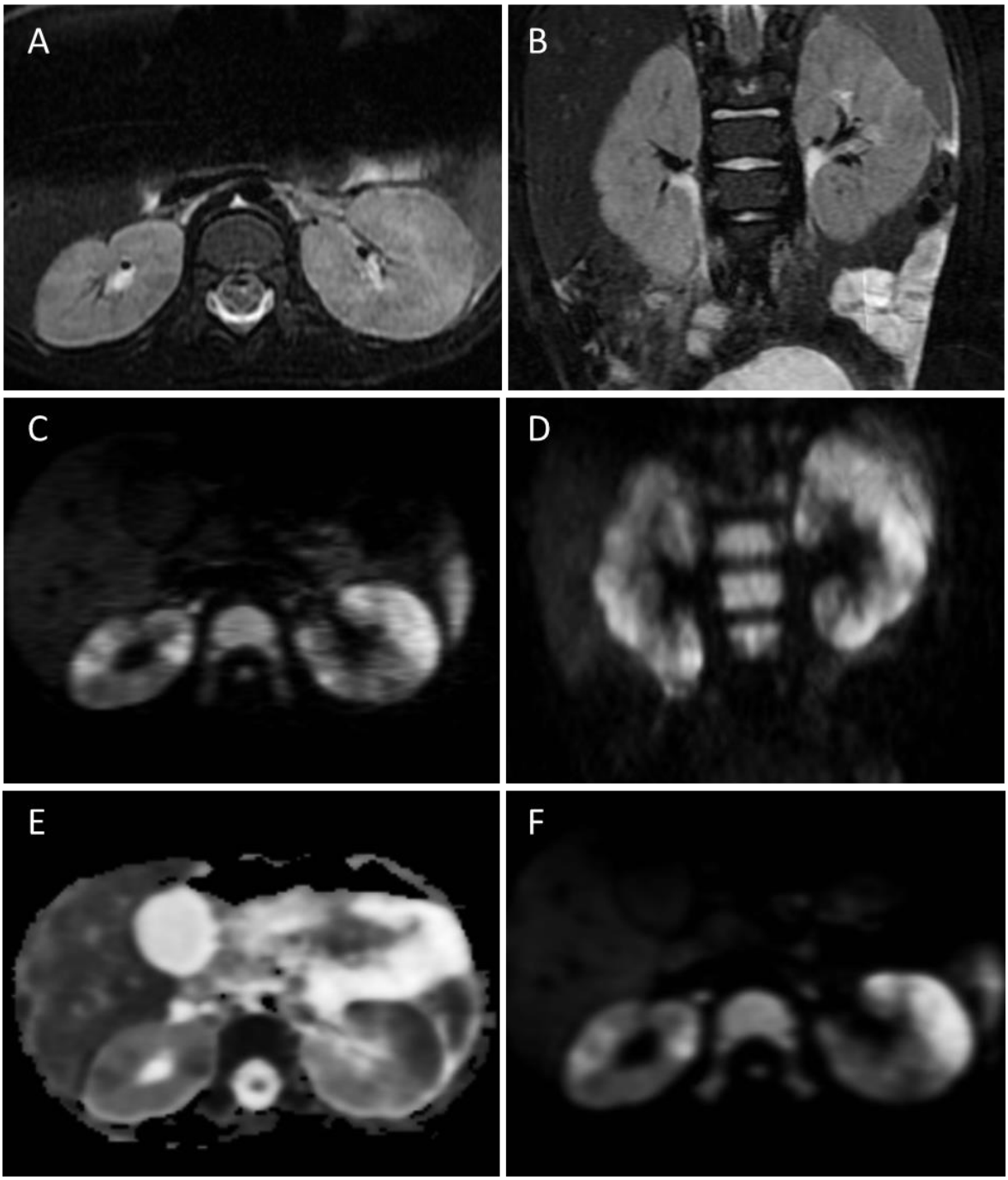


Figure 5 *Multiples foyers de néphrites bilatéraux associés à la présence de micro abcès*

Séquences (A) coupe axiale T2, (B) coronale T2, (C) axiale diffusion, (D) coronale diffusion*, (E) ADC (coefficient apparent de diffusion), (F) axiale tenseur de diffusion*. *(b=1100 s/mm^2)*

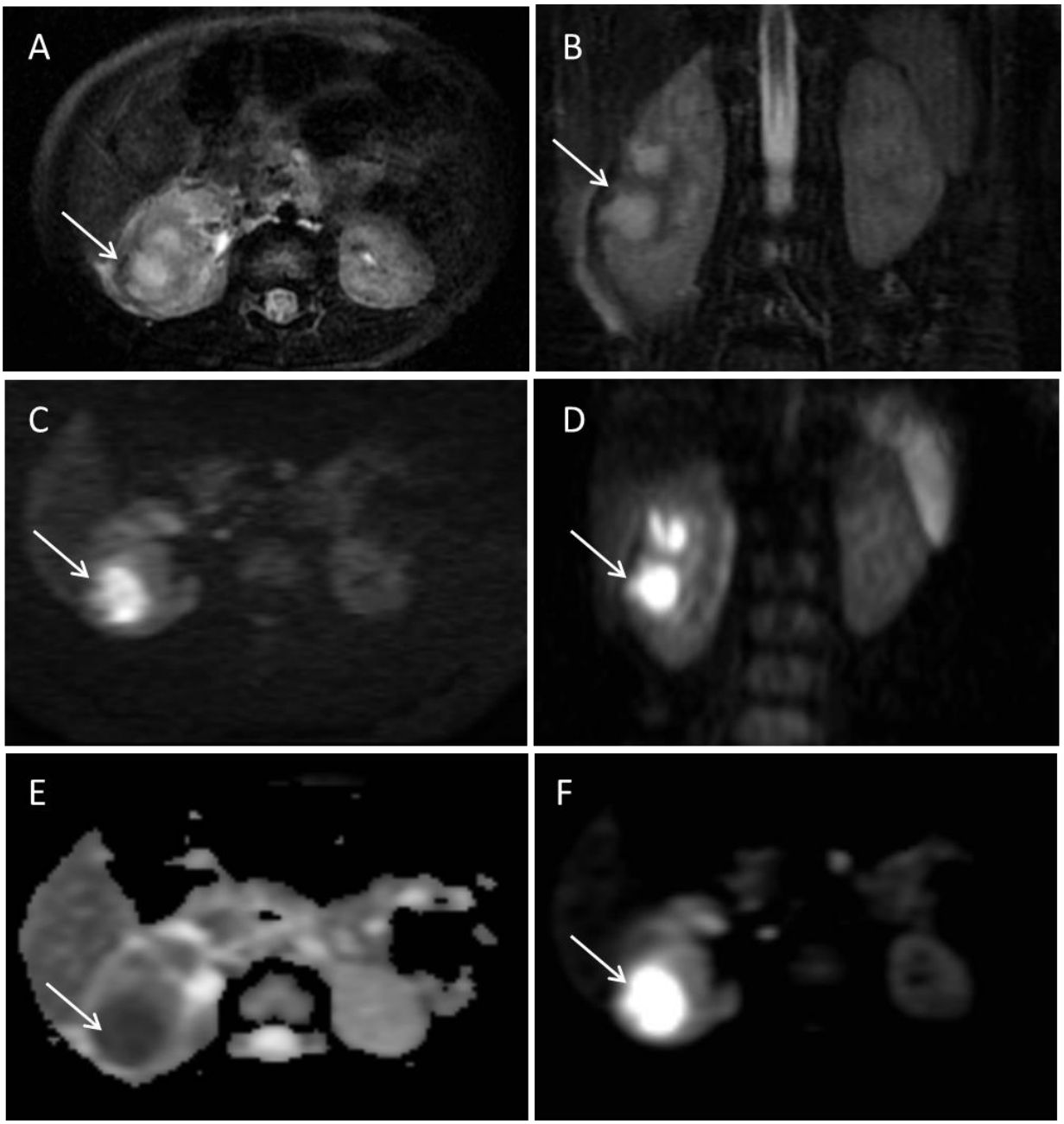


Figure 6 *Volumineux abcès du rein droit*

Séquences (A) coupe axiale T2, (B) coronale T2, (C) axiale diffusion, (D) coronale diffusion*, (E) ADC (coefficient apparent de diffusion), (F) axiale tenseur de diffusion*. *(b=1100 s/mm^2)*

La durée réelle d'acquisition du tenseur de diffusion était de 4min 18sec. Elle était significativement ($p < 0,01$) plus rapide que l'association des deux séquences de diffusion axiale et coronale (7min 8sec +/- 2min 48sec) chez tous les enfants (*Tableau 5*).

	Diffusion (axial + coronal)	Tenseur de diffusion
Durée moyenne effective d'acquisition en minutes (+/- Ecart type)	7,14 (+/- 2,8)	4,3
Durée minimale d'acquisition en minutes	4,73	
Durée maximale d'acquisition en minutes	16,06	

Tableau 5 *Comparaison des durées d'acquisition.*

Le tenseur de diffusion était significativement plus rapide ($p < 0.01$).

Le rapport contraste sur bruit ou CNR des foyers de néphrites était significativement plus élevé sur la séquence du tenseur de diffusion (*Tableau 6*).

	CNR Diffusion	**CNR Tenseur de diffusion**
Moyenne (+/- Ecart type)	4,33 (+/- 1,88)	6,5 (+/- 3,49)
Minimum	1,49	1,6
Maximum	7,43	13,76

Test des rangs signés de Wilcoxon pour échantillons appariés : $p < 0,001$

Tableau 6 Comparaison des *rapports contraste sur bruit (CNR) au sein des foyers de néphrites sur la diffusion (axiale) et le tenseur.*

Le CNR était significativement meilleur avec le tenseur de diffusion qu'avec la diffusion.

IV. Discussion

Si l'IRM ne doit pas être effectuée de façon systématique en cas de pyélonéphrite, elle peut avoir un intérêt en cas de doute diagnostic (ECBU douteux, antibiothérapie initiée avant un ECBU, fièvre inexpliquée, échographie normale), ou en cas de complication (abcès et pyonéphrose). L'IRM de diffusion est actuellement la méthode de référence en IRM (31,32).

Cette étude est, à notre connaissance, la première à évaluer les performances de la séquence du tenseur de diffusion dans le diagnostic de pyélonéphrite chez l'enfant. Son intérêt réside principalement dans sa rapidité (4min 18sec vs 7min 8sec ; $p<0,01$), puisque les 6 acquisitions par valeur de b permettent de moyenner l'image sans avoir besoin d'effectuer une synchronisation respiratoire. Ainsi, les performances diagnostiques d'un tenseur axial sont comparables à l'association des deux séquences de diffusion en axial et coronal avec synchronisation respiratoire, notre technique de référence.

Bien que la reproductibilité inter-observateur soit un peu meilleure avec la séquence de diffusion, celle-ci reste excellente avec le tenseur (κ = 0,93 en diffusion vs 0,83 sur le tenseur par tiers de rein).

La durée de la restriction de la diffusion des molécules d'eau après un épisode de pyélonéphrite aiguë reste inconnue à ce jour. Contrairement à l'IRM, la scintigraphie ne permet pas de distinguer aisément un foyer de pyélonéphrite aiguë d'une cicatrice rénale voire même d'un kyste. L'association d'une séquence morphologique et de diffusion permet de s'affranchir de cette problématique. Les images anatomiques fournies par les séquences pondérées en T2 en association avec un tenseur de diffusion non synchronisé à la respiration pourraient constituer un examen complet en un temps réduit (inférieur à 15 minutes).

Sept enfants avaient une IRM jugée négative après consensus. Six d'entre eux avaient un ECBU négatif. La dernière enfant, âgée de 10 mois avait un ECBU positif à E. Coli avec une CRP < 5.

Le seul patient faux positif du tenseur (présenté *Figure 4*), avait un ECBU positif, jugé négatif sur le contrôle. Cette enfant était suivie pour un syndrome de jonction et a présenté un nouvel épisode de pyélonéphrite 1an plus tard ayant nécessité une plastie gauche dans un contexte de pyonéphrose. Cet examen, réalisé chez un enfant pleurant, était de qualité correcte pour la diffusion et excellente sur le tenseur. Le tenseur était positif pour les tiers supérieur et moyen du rein droit. Les tiers supérieur et inférieur du rein droit étaient positifs sur l'axial diffusion pour les deux observateurs sans anomalie retrouvée sur la diffusion coronale.

Les trois autres zones discordantes par tiers de rein après consensus correspondaient à des zones classées positives sur le tenseur et positives sur la séquence coronale diffusion sans anomalie retrouvée sur l'axial diffusion. Ces deux enfants étaient calmes lors des acquisitions.

Il est licite de s'interroger sur ces images discordantes et de se demander si elles ne sont pas en faveur d'un diagnostic plus précis par les séquences du tenseur de diffusion. D'autant plus chez les enfants pleurant pour lesquels la synchronisation respiratoire est difficile avec une qualité d'image altérée.

En effet, la qualité des images obtenues par la séquence du tenseur de diffusion était significativement ($p < 0,001$) meilleure que celle de la diffusion. Elles étaient de plus acquises dans un délai moyen 1,5 fois plus court. Par ailleurs, le temps d'acquisition du tenseur n'était pas modifié en fonction du comportement de l'enfant alors qu'il était nettement allongé en cas de pleurs lors de l'acquisition de la diffusion. Les pleurs étant susceptibles de perturber les acquisitions en synchronisation respiratoire.

Il existait une grande variabilité du rapport contraste sur bruit (CNR) des foyers de néphrite entre les patients. Pour la plupart, le tenseur était supérieur mais pour 3 patients, le CNR du foyer de néphrite était supérieur en diffusion. Pour 2 patients, les valeurs de CNR étaient très proches sur les deux séquences. Malgré cela, le CNR était significativement plus élevé dans les foyers de néphrite sur la séquence du tenseur de diffusion.

Parmi nos vingt-huit patients, dix ont bénéficié d'une cystographie dont trois se sont avérées positives :

- Un enfant, à l'ECBU douteux avec des foyers de néphrite bilatéraux sur la diffusion et le tenseur, présentait un reflux vésico urétéral bilatéral (de grade I à droite, II à gauche).

- Une enfant, à l'ECBU douteux avec des foyers de néphrite à gauche sur la diffusion et le tenseur, présentait un reflux vésico urétéral gauche de grade III (*Figure 7)*. Le rein droit, de cette enfant, était le rein jugé normal par un observateur en diffusion et anormal par l'autre avant consensus.

- Un enfant de 4,4 ans avec un ECBU négatif, aux antécédents de pyélectasie gauche non refluant, exploré par IRM à J5 d'une fièvre inexpliquée dans un contexte de douleur du flanc et de l'hypochondre droit, présentait un reflux vésico urétéral gauche de grade II. L'IRM de cet enfant était considérée comme négative après consensus bien qu'un des deux observateurs ait considéré en première lecture les 6 tiers de rein positifs sur le tenseur.

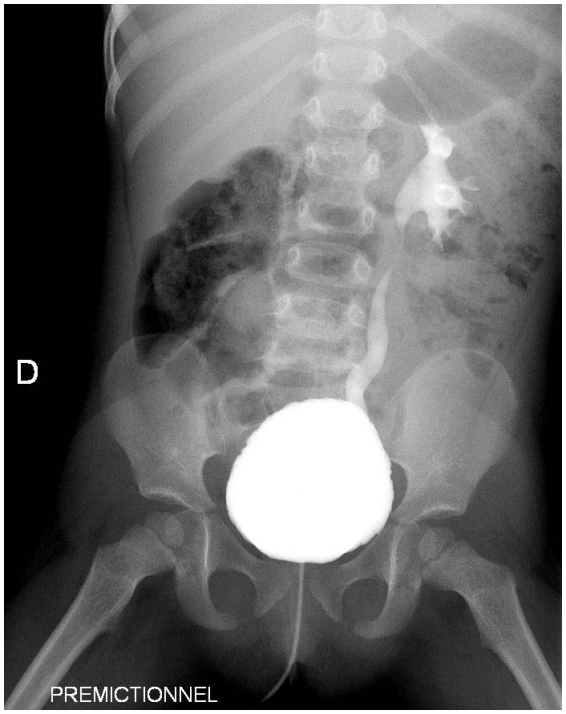


Figure 7 *Reflux vésico urétéral gauche de grade III*

Cystographie chez une enfant ayant présenté un premier épisode de pyélonéphrite à ECBU douteux, l'IRM retrouvait des foyers de néphrite à gauche sur la diffusion et le tenseur

Notre faible effectif et ce dernier résultat ne nous permettent pas de trancher quant à la place de l'IRM pour décider la réalisation d'une cystographie après un premier épisode de pyélonéphrite.

Notre étude a des limites. Nous n'avons pas effectué d'IRM chez les enfants de moins de 6 mois, l'ADC est connu pour être réduit dans les premiers mois de vie (33).

Un nombre non négligeable de patients (15% de l'effectif initial) a été exclu. Sur ces cinq patients, trois ont été exclus en raison d'images ininterprétables (deux sur la diffusion, un sur le tenseur). Ces enfants pleuraient tous au cours des acquisitions. Un de ces patients n'avait pas reçu de prémédication et avait été seulement privé de sommeil. Il peut s'agir là d'un manque de coordination dans la préparation de l'examen entre le service d'imagerie et le service où était hospitalisé l'enfant. Cette prémédication devant être administrée dans l'heure précédent l'examen, la gestion de ces urgences dans un flux d'IRM programmées rend parfois l'organisation difficile.

Deux patients ont été exclus en l'absence de consensus, l'un d'eux pleurait au cours des acquisitions. Ces patients exclus, ainsi que nos résultats en termes de qualité des séquences rendent compte des difficultés technique rencontrées lors de la synchronisation respiratoire chez l'enfant avec une qualité d'examen dégradée en cas de pleurs. Le tenseur, en raison de ses multiples acquisitions pour obtenir une seule image, apparait moins impacté par les pleurs.

Les résultats IRM n'ont pas été comparés à la scintigraphie rénale au ^{99m}Tc-DMSA, modalité d'imagerie de référence pour le diagnostic de pyélonéphrite aiguë. Cependant, l'objectif de cette étude n'était pas de comparer ces deux examens.

Ces résultats encourageants, nécessitent une étude prospective comparant la valeur diagnostique de l'IRM, notamment de la séquence du tenseur de diffusion, à la scintigraphie au ^{99m}Tc-DMSA. Par rapport à la scintigraphie, l'IRM présente une bien meilleure résolution spatiale, avec des informations anatomiques (taille des reins, dilatation des cavités, cicatrices et kystes corticaux, abcès), n'expose pas aux rayonnements ionisants et ne nécessite aucune perfusion ou injection.

V. Conclusion

Notre étude a démontré que la séquence du tenseur de diffusion sans synchronisation a une fiabilité diagnostique comparable aux séquences de diffusion classique avec synchronisation, dans le diagnostic de pyélonéphrite aiguë chez l'enfant en IRM. Le tenseur permet donc de gagner du temps en évitant la synchronisation respiratoire qui rallonge la durée des séquences d'environ 50%. Au terme de cette étude, nous proposons un protocole simple et rapide associant des séquences pondérées en T2 Fat Sat et un tenseur de diffusion. Cet examen a l'avantage d'être rapide (durée d'acquisition inférieure à 15 min), de fournir des informations morphologiques et de diagnostiquer les foyers de néphrite ainsi que les complications. Ceci sans avoir besoin de perfuser l'enfant, de l'injecter en produit de contraste, et sans irradiation.

Il est possible que cet examen devienne dans les années à venir l'examen de référence pour les pyélonéphrites compliquées ou douteuses.

VI. Annexes

Issues de la thèse de docteur en sciences, du Dr VIVIER, traitant de l'Uro-IRM fonctionnelle.

Annexe 1 : Principes de la diffusion en IRM [p148-150]

L'imagerie de diffusion étudie les mouvements des molécules d'eau dans le secteur interstitiel (avec les techniques classiques). Les molécules d'eau se déplacent de façon aléatoire (« mouvement Brownien »). En fonction des tissus étudiés, les molécules d'eau se déplacent plus ou moins. L'étude de la diffusion est classique lors des accidents ischémiques cérébraux : A la phase aiguë, il existe un œdème vasogénique correspondant à la migration de l'eau interstitielle dans les cellules en souffrance dont le volume est augmenté. Du fait de la diminution du volume du secteur interstitiel, la diffusion de l'eau (interstitielle) est abaissée. Puis lorsque les cellules se nécrosent, la diffusion de l'eau augmente parallèlement à l'augmentation du volume du secteur interstitiel.

En IRM, en appliquant un gradient de champ magnétique les protons tournent à des vitesses différentes et se déphasent le long de l'axe du gradient. L'application d'un second gradient identique mais de sens inverse permet de compenser le déphasage induit par le premier gradient si les protons n'ont pas bougé le long de l'axe du gradient. Le signal des molécules d'eau immobiles n'est donc pas atténué, contrairement au signal des molécules d'eau mobiles qui sont déphasées. En pratique 2 gradients de diffusion de sens inverses sont appliqués de part et d'autre d'une impulsion de 180°. Les déphasages sont d'autant plus marqués que la puissance des gradients est élevée, que la durée de leur application est longue, que le temps qui les sépare est important. Le « facteur b » (*Fig. 1*) regroupe ces 3 éléments pour caractériser l'importance des gradients de diffusion et de leurs déphasages.

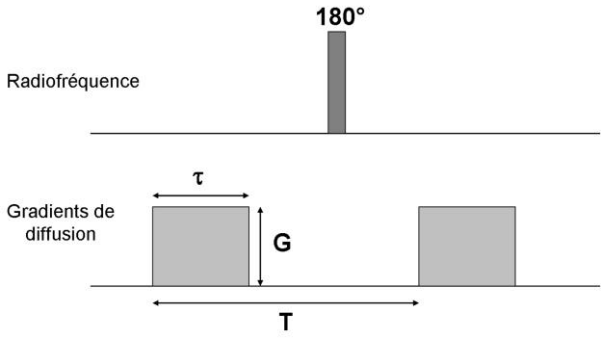


Figure 1. Application des gradients de diffusion de part et d'autre de l'impulsion de 180°. Le facteur b, exprimé en sec/mm^2, obéit à l'équation suivante :

$b \approx (\gamma \cdot G \cdot \tau)^2 \cdot (T - \tau/3)$

γ : Rapport gyromagnétique

G : Amplitude du gradient

τ : Durée d'application du gradient

T : Temps séparant l'application des 2 gradients de diffusion

Les gradients de diffusion sont appliqués dans les 3 axes x, y et z. Ainsi 3 images sont acquises, mais généralement une seule image (« image isotrope » ou « image trace ») correspondant à la moyenne des 3 est fournie.

Une séquence de diffusion classique comporte 2 acquisitions :

- une sans gradient de diffusion (b=0), pondérée en T2

- une avec gradients de diffusion (b = 1000 sec/mm^2 par exemple), avec une persistance de pondération T2 d'autant plus faible que b est important.

Ainsi, un hypersignal sur une image en diffusion, c'est-à-dire avec un facteur b non nul, peut correspondre à 2 éléments différents qui peuvent prêter à confusion :

- une faible diffusion de l'eau

- un tissu ayant un T2 long : effet « T2 shine-trough »

Pour s'affranchir de l'effet T2 shine-trough et obtenir un signal ne dépendant que de la diffusion des molécules d'eau, il est possible de calculer le coefficient de diffusion apparent (ADC), et d'obtenir une image dite « cartographie ADC » où la valeur de l'ADC est calculée pour chaque pixel (*Fig. 2*). Un hyposignal correspond à une restriction de la diffusion.

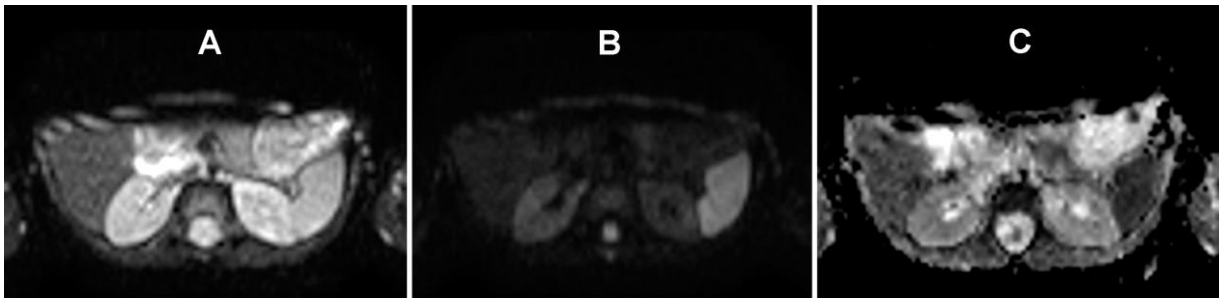


Figure 2. Images obtenues lors d'une séquence de diffusion.

A : Image sans gradient de diffusion (b=0 sec/mm^2)

B : Image avec gradients de diffusion (b=800 sec/mm^2)

C : Cartographie ADC (ADC du parenchyme rénal ≈ 1,7 mm^2/sec)

L'atténuation du signal (S) sur une séquence pondérée en diffusion est classiquement décrite selon un modèle mono-exponentiel :

$S = e^{-b \cdot ADC}$

Afin de pouvoir quantifier l'ADC, en mm^2/sec, les signaux des images sans diffusion (S_0) et avec diffusion (S) sont utilisés :

$ADC = -(1/b) \cdot Ln\ (S/\ S_0)$

Annexe 2 : Rappel sur le tenseur de diffusion [p164-166]

L'imagerie de diffusion permet d'étudier les mouvements des molécules d'eau. Jusqu'à ce chapitre seule la diffusion classique a été abordée, c'est à dire une imagerie avec application de gradients de diffusion selon 3 axes différents. Cette méthode considère que les molécules d'eau se déplacent de façon aléatoire dans les 3 plans de l'espace, sans orientation préférentielle. La diffusion est dite isotrope. Ainsi il est possible de représenter la diffusion comme une sphère dont le rayon représente l'importance des déplacements, c'est à dire l'ADC.

Cependant, dans certains tissus comme la substance blanche, le myocarde ou la médullaire, l'organisation micro structurelle (fibres nerveuses myélinisées et tubules parallèles) limite la diffusion des molécules d'eau dans certaines directions. Par conséquent la diffusion se fait selon un axe préférentiel et est dite anisotrope. Elle peut être représentée par un ellipsoïde (*Fig. 3*).

Le tenseur est un objet mathématique qui décrit les propriétés de diffusion d'un volume, et correspond à une matrice (*Fig. 3*). Cette matrice est symétrique en diagonale : Dxy = Dyx, Dzx = Dxz, et Dzy = Dyz. Ainsi, il suffit d'appliquer un minimum de 6 gradients de diffusion dans 6 directions pour pouvoir étudier l'anisotropie de la diffusion. Cette technique s'appelle l'imagerie en tenseur de diffusion. L'échantillonnage du signal dans un plus grand nombre de directions permet une mesure plus précise de la diffusion anisotrope. L'ellipsoïde peut être défini par 3 vecteurs : V1, V2, et V3, dont les amplitudes correspondantes sont notées $\lambda 1$, $\lambda 2$ et $\lambda 3$. Par convention $\lambda 1 > \lambda 2 > \lambda 3$ si ces valeurs sont différentes, avec $\lambda 1$ qui correspond à la direction principale (également dite longitudinale).

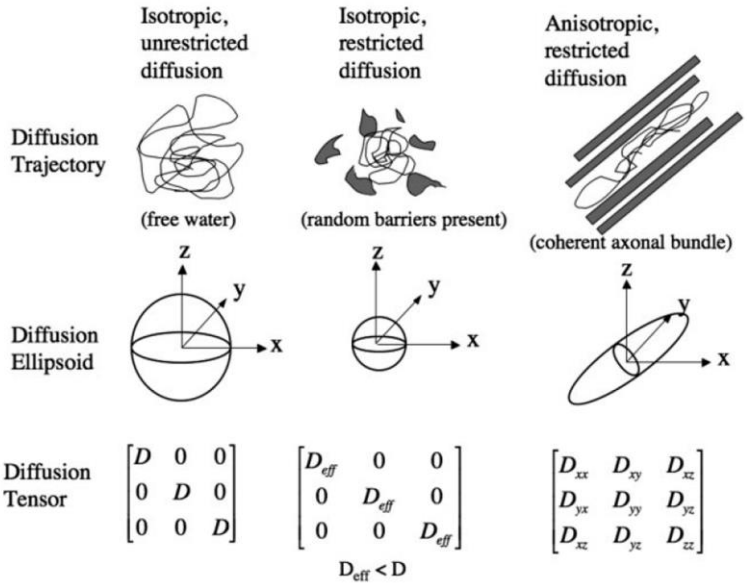


Figure 3. Représentations de la diffusion isotrope et anisotrope. Les tenseurs de diffusion permettent de décrire mathématiquement les vecteurs qui composent la sphère ou l'ellipsoïde. Le tenseur, dans cet exemple, correspond à une matrice 3x3 (9 valeurs). *D'après Mukherje P et al AJNR 2008* .

Il est possible de simplifier l'expression du tenseur noté selon le repère xyz en se plaçant dans un repère dont les 3 axes orthogonaux correspondent à ceux des 3 vecteurs propres (eigenvectors). Ce repère est dénommé "repère propre". Le tenseur se réduit alors à une matrice diagonale avec les valeurs propres $\lambda 1$, $\lambda 2$ et $\lambda 3$ (*Fig. 4*).

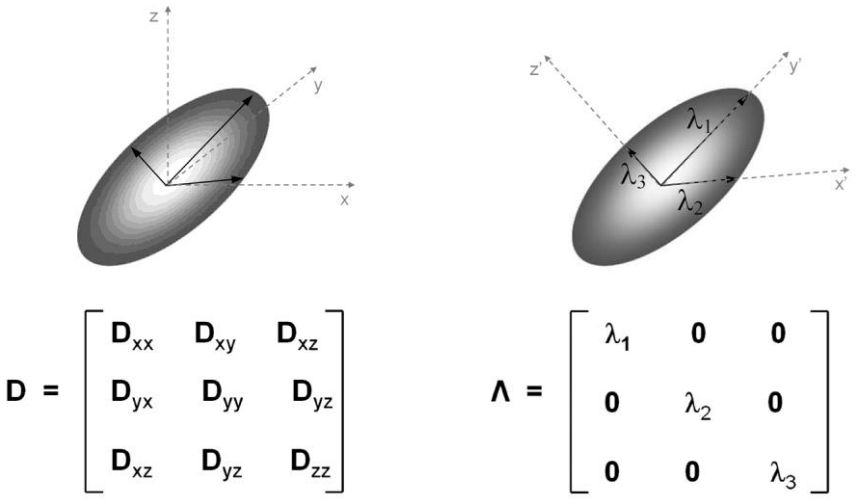


Figure 4. Simplification de la description de l'ellipsoïde grâce à un changement de repère correspondant aux vecteurs propres et dont les magnitudes correspondent à λ_1, λ_2 et λ_3.

Ces 3 vecteurs propres permettent de calculer de nombreux indices définissant la diffusion et l'anisotropie.

Les plus utiles sont :

- La diffusivité moyenne (MD), qui est comparable à l'ADC : $\lambda = (\lambda 1 + \lambda 2 + \lambda 3)/3$

- La diffusivité radiale, qui représente de façon simple l'importance de la diffusion transversale, c'est-à-dire non longitudinale : $\lambda rad = (\lambda 2 + \lambda 3)/2$

- La fraction d'anisotropie (FA) qui quantifie le degré d'anisotropie, sans fournir d'information directionnelle :

$FA = (3/2)1/2[[(\lambda 1 - \lambda)2 + (\lambda 2 - \lambda)2 + (\lambda 3 - \lambda)2]/(\lambda 12 + \lambda 22 + \lambda 32)]1/2$

Ces indices sont des scalaires n'apportant pas réellement d'information directionnelle. Il est possible de représenter le vecteur principal V1 (principal eigenvector) pour chaque pixel sous la forme d'une cartographie. Les flèches correspondent à la direction des vecteurs principaux avec un codage couleur proportionnel à $\lambda 1$.

VII. Références bibliographiques

1. Mårild S, Jodal U. Incidence rate of first-time symptomatic urinary tract infection in children under 6 years of age. Acta Paediatr. 1998 May;87(5):549-52.

2. Stein R, Dogan HS, Hoebeke P, Kočvara R, Nijman RJ, Radmayr C, Tekgül S; European Association of Urology.; European Society for Pediatric Urology.. Urinary tract infections in children: EAU/ESPU guidelines. Eur Urol. 2015 Mar;67(3):546-58.

3. Venhola M, Hannula A, Huttunen NP, Renko M, Pokka T, Uhari M. Occurrence of vesicoureteral reflux in children. Acta Paediatr. 2010 Dec;99(12):1875-8.

4. Hua L, Linke RJ, Boucaut HA, Khurana S. Micturating cystourethrogram as a tool for investigating UTI in children - An institutional audit. J Pediatr Urol. 2016 Apr 16. pii: S1477-5131(16)30015-8.

5. Fiches-information-AFU, http://urofrance.org/fileadmin/documents/data/FI/2011/reflux-vesico-renal/main.pdf.

6. Lee R, Thomas KE, Connolly BL, Falkiner M, Gordon CL. Effective dose,estimation for pediatric voiding cystourethrography using an anthropomorphic phantom set and metal oxide semiconductor field-effect transistor (MOSFET) technology. Pediatr Radiol. 2009 Jun;39(6):608-15.

7. Majd M, Nussbaum Blask AR, Markle BM, Shalaby-Rana E, Pohl HG, Park JS, Chandra R, Rais-Bahrami K, Pandya N, Patel KM, Rushton HG. Acute pyelonephritis: comparison of diagnosis with 99mTc-DMSA, SPECT, spiral CT, MR imaging, and power Doppler US in an experimental pig model. Radiology. 2001 Jan;218(1):101-8.

8. Preda I, Jodal U, Sixt R, Stokland E, Hansson S. Value of ultrasound in evaluation of infants with first urinary tract infection. J Urol. 2010 May;183(5):1984-8.

9. Broadis E, Kronfli R, Flett ME, Cascio S, O'Toole SJ. 'Targeted top down' approach for the investigation of UTI: A 10-year follow-up study in a cohort of 1000 children. J Pediatr Urol. 2016 Feb;12(1):39.e1-6.

10. Smith T, Evans K, Lythgoe MF, Anderson PJ, Gordon I. Radiation dosimetry of technetium-99m-DMSA in children. J Nucl Med. 1996 Aug;37(8):1336-42.

11. Stein R, Dogan HS, Hoebeke P, Kočvara R, Nijman RJ, Radmayr C, Tekgül S; European Association of Urology.; European Society for Pediatric Urology.. Urinary tract infections in children: EAU/ESPU guidelines. Eur Urol. 2015 Mar;67(3):546-58.

12. Subcommittee on Urinary Tract Infection, Steering Committee on Quality Improvement and Management., Roberts KB. Urinary tract infection: clinical practice guideline for the diagnosis and management of the initial UTI in febrile infants and children 2 to 24 months. Pediatrics. 2011 Sep;128(3):595-10.

13. National Collaborating Centre for Women's and Children's Health (UK). Urinary Tract Infection in Children: Diagnosis, Treatment and Long-term Management. London: RCOG Press; 2007 Aug.

14. Hua L, Linke RJ, Boucaut HA, Khurana S. Micturating cystourethrogram as a tool for investigating UTI in children - An institutional audit. J Pediatr Urol. 2016 Apr 16. pii: S1477-5131(16)30015-8.

15. Riccabona M, Avni FE, Blickman JG, Dacher JN, Darge K, Lobo ML, Willi U. Imaging recommendations in paediatric uroradiology: minutes of the ESPR workgroup session on urinary tract infection, fetal hydronephrosis, urinary tract ultrasonography and voiding cystourethrography, Barcelona, Spain, June 2007. Pediatr Radiol. 2008 Feb;38(2):138-45.

16. Majd M, Nussbaum Blask AR, Markle BM, Shalaby-Rana E, Pohl HG, Park JS, Chandra R, Rais-Bahrami K, Pandya N, Patel KM, Rushton HG. Acute pyelonephritis: comparison of diagnosis with 99mTc-DMSA, SPECT, spiral CT, MR imaging, and power Doppler US in an experimental pig model. Radiology. 2001 Jan;218(1):101-8.

17. Lonergan GJ, Pennington DJ, Morrison JC, Haws RM, Grimley MS, Kao TC. Childhood pyelonephritis: comparison of gadolinium-enhanced MR imaging and renal cortical scintigraphy for diagnosis. Radiology. 1998 May;207(2):377-84.

18. Verswijvel G, Vandecaveye V, Gelin G, Vandevenne J, Grieten M, Horvath M, Oyen R, Palmers Y. Diffusion-weighted MR imaging in the evaluation of renal infection: preliminary results. JBR-BTR. 2002 Apr-May;85(2):100-3.

19. Thoeny HC, De Keyzer F. Diffusion-weighted MR imaging of native and transplanted kidneys. Radiology. 2011 Apr;259(1):25-38.

20. Vivier PH, Sallem A, Beurdeley M, Lim RP, Leroux J, Caudron J, Coudray C, Liard A, Michelet I, Dacher JN. MRI and suspected acute pyelonephritis in children: comparison of diffusion-weighted imaging with gadolinium-enhanced T1-weighted imaging. Eur Radiol. 2014 Jan;24(1):19-25.

21. Faletti R, Cassinis MC, Fonio P, Grasso A, Battisti G, Bergamasco L, Gandini G. Diffusion-weighted imaging and apparent diffusion coefficient values versus contrast-enhanced MR imaging in the identification and characterisation of acute pyelonephritis. Eur Radiol. 2013 Dec;23(12):3501-8.

22. Aoyagi J, Odaka J, Kuroiwa Y, Nakashima N, Ito T, Saito T, Kanai T, Yamagata T, Momoi MY. Utility of non-enhanced magnetic resonance imaging to detect acute pyelonephritis. Pediatr Int. 2014 Jun;56(3):e4-6.

23. Oppenheim C, Ducreux D, Rodrigo S, Hodel J, Tourdias T, Charbonneau F, Pierrefitte S, Meder J. [Diffusion tensor imaging and tractography of the brain and spinal cord]. J Radiol. 2007 Mar;88(3 Pt 2):510-20.

24. Le Bihan D, Mangin JF, Poupon C, Clark CA, Pappata S, Molko N, Chabriat H. Diffusion tensor imaging: concepts and applications. J Magn Reson Imaging. 2001 Apr;13(4):534-46.

25. Habas C. [Basic principles of diffusion tensor MR tractography]. J Radiol. 2004 Mar;85(3):281-6.

26. Sigmund EE, Vivier PH, Sui D, Lamparello NA, Tantillo K, Mikheev A, Rusinek H, Babb JS, Storey P, Lee VS, Chandarana H. Intravoxel incoherent motion and diffusion-tensor imaging in renal tissue under hydration and furosemide flow challenges. Radiology. 2012 Jun;263(3):758-69.

27. Van Donkelaar CC, Kretzers LJ, Bovendeerd PH, Lataster LM, Nicolay K, Janssen JD, Drost MR. Diffusion tensor imaging in biomechanical studies of skeletal muscle function. J Anat. 1999 Jan;194 (Pt 1):79-88.

28. Majd M, Nussbaum Blask AR, Markle BM, Shalaby-Rana E, Pohl HG, Park JS, Chandra R, Rais-Bahrami K, Pandya N, Patel KM, Rushton HG. Acute pyelonephritis: comparison of diagnosis with 99mTc-DMSA, SPECT, spiral CT, MR imaging, and power Doppler US in an experimental pig model. Radiology. 2001 Jan;218(1):101-8.

29. Hasan KM, Alexander AL, Narayana PA. Does fractional anisotropy have better noise immunity characteristics than relative anisotropy in diffusion tensor MRI? An analytical approach. Magn Reson Med. 2004 Feb;51(2):413-7.

30. Furman-Haran E, Grobgeld D, Nissan N, Shapiro-Feinberg M, Degani H. Can diffusion tensor anisotropy indices assist in breast cancer detection? J Magn Reson Imaging. 2016 Dec;44(6):1624-1632.

31. Vivier PH, Sallem A, Beurdeley M, Lim RP, Leroux J, Caudron J, Coudray C, Liard A, Michelet I, Dacher JN. MRI and suspected acute pyelonephritis in children: comparison of diffusion-weighted imaging with gadolinium-enhanced T1-weighted imaging. Eur Radiol. 2014 Jan;24(1):19-25.

32. Faletti R, Cassinis MC, Fonio P, Grasso A, Battisti G, Bergamasco L, Gandini G. Diffusion-weighted imaging and apparent diffusion coefficient values versus contrast-enhanced MR imaging in the identification and characterisation of acute pyelonephritis. Eur Radiol. 2013 Dec;23(12):3501-8.

33. Jones RA, Grattan-Smith JD. Age dependence of the renal apparent diffusion coefficient in children. Pediatr Radiol. 2003 Dec;33(12):850-4

Apport du tenseur de diffusion par rapport à la diffusion classique dans l'exploration par IRM des pyélonéphrites aiguës de l'enfant

M Lair, M Renaux-Petel, Y Cruypeninck, A Liard-Zmuda, JN Dacher, PH Vivier

Objectifs :

Evaluer les performances diagnostiques du tenseur de diffusion sans synchronisation respiratoire comparativement à la diffusion classique avec synchronisation.

Matériel et méthodes :

Etude rétrospective menée au CHU de Rouen, pendant 26 mois, chez des enfants admis pour suspicion de 1er épisode de pyélonéphrite, et explorés par IRM. Cette exploration comportait des séquences de diffusion avec synchronisation respiratoire (méthode de référence) et en tenseur de diffusion sans synchronisation.

Chaque séquence a été interprétée séparément par deux radiologues, sans connaissance du dossier clinique en rein normal ou pathologique. La concordance entre le tenseur et la diffusion et la reproductibilité inter-observateurs ont été calculées par le test de Mc Nemar et par le coefficient de concordance Kappa (κ).

Résultats :

Vingt-huit patients (55 reins) ont été inclus. 21 patients avaient une pyélonéphrite. 28 reins (50,9%) étaient le siège de zones en hypersignal sur la séquence de diffusion. La sensibilité et la spécificité étaient respectivement de 100% et 96,3% pour le tenseur. La concordance entre la séquence du tenseur et la diffusion était excellente (κ=0,96), et aucune différence diagnostique significative n'a été mise en évidence (p=1).

La reproductibilité inter-observateur était meilleure avec la séquence de diffusion (κ=0,96) qu'avec le tenseur (κ=0,85).

Le tenseur était significativement (p<0,01) plus rapide (4min 18sec) que la diffusion (7min 8sec ± 2min 48sec) chez tous les enfants en s'affranchissant de la synchronisation respiratoire.

Conclusion :

La séquence du tenseur de diffusion a une fiabilité diagnostique comparable à la séquence de diffusion pour identifier les foyers de pyélonéphrite, bien que sa reproductibilité inter-observateur par tiers de rein soit inférieure à celle de la diffusion. Elle permet une acquisition nettement plus rapide, et évite le recours à la synchronisation respiratoire, qui rallonge la durée des séquences et qui est d'utilisation délicate chez les enfants. Au final, notre étude incite à ne plus utiliser la séquence de diffusion classique.