



UNIVERSITE DU DROIT ET DE LA SANTE - LILLE 2
FACULTE DE MEDECINE HENRI WAREMBOURG

Année : 2017

THESE POUR LE DIPLOME D'ETAT
DE DOCTEUR EN MEDECINE

**VISIBILITE, VARIANTES ET REPERES RADIOANATOMIQUES DU PLEXUS
LOMBOSACRAL EN IRM 3T**

Présentée et soutenue publiquement le mardi 23 Mai 2017 à 16h00
Au Pôle Formation
Par Jérémy Hanckowiak

JURY

Président :

Madame le Professeur Anne Cotten

Assesseurs :

Monsieur le Professeur Xavier Demondion

Monsieur le Professeur Antoine Drizenko

Monsieur le Docteur Guillaume Lefebvre

Directeur de Thèse :

Monsieur le Docteur Guillaume Lefebvre

Avertissement

La Faculté n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses : celles-ci sont propres à leurs auteurs.

Liste des abréviations

3D : Trois dimensions

BHN : Barrière Hémato-Nerveuse

CNR : Contrast-to-Noise Ratio

CPR : Curved Planar Reformation

DP : Densité de protons

DTI : Diffusion Tensor Imaging

DWI : Diffusion Weighted Imaging

EIAS : Epine iliaque Antéro-Supérieure

FA : Fraction d'Anisotropie

FOV : Field Of View

FS : Fat-Saturation

iMSDE : improved Motion Sensitized Driven Equilibrium

IRM : Imagerie par Résonance Magnétique

MIP : Maximum Intensity Projection

MPR : MultiPlanar Reconstruction

SHINKEI : nerve-SHeat signal increased with INKed rest tissue RARE imaging

SNR : Signal-to-Noise Ratio

SPAIR : SPectral Adiabatic Inversion Recovery

SSFP : Steady-State Free-Precession

STIR : Short Tau Inversion Recovery

TE : Temps d'Echo

TR : Temps de Répétition

TSE : Turbo Spin Echo

Table des matières

RESUME	1
INTRODUCTION	2
CONTEXTE SCIENTIFIQUE	4
1. ANATOMIE DU PLEXUS LOMBOSACRAL	5
A. Plexus lombal	5
1) Définition	5
2) Rapports anatomiques	6
3) Systématisation	7
4) Nerf ilio-hypogastrique	10
5) Nerf ilio-inguinal.....	13
6) Nerf cutané latéral de la cuisse	14
7) Nerf génito-fémoral.....	17
8) Nerf obturateur	18
9) Nerf fémoral.....	22
B. Plexus sacral	24
1) Définition	24
2) Rapports anatomiques	25
3) Tronc lombosacral.....	28
4) Nerf glutéal supérieur	29
5) Nerf cutané postérieur de la cuisse.....	32
6) Nerf glutéal inférieur	33
7) Nerf pudendal.....	34
8) Nerf sciatique	35
2. NEUROGRAPHIE IRM DU PLEXUS LOMBOSACRAL	38
A. Définition.....	38
B. Structure du nerf.....	38
C. Aspect du nerf en IRM.....	39
D. Champ magnétique	41
E. Séquences non « nerf-spécifique »	41
1) Séquence T1 sans suppression de graisse	41
2) Séquence T2 avec suppression de graisse	42
3) Séquence T1 FS après injection de gadolinium.....	42
4) Séquences 3D.....	44
F. Séquences « nerf-spécifique »	45
1) Séquence de diffusion et tractographie.....	45
2) Séquence 3D TSE STIR Gadolinium	48
3) Séquence 3D SHINKEI	49
4) Séquence 3D DW-PSIF (ou SSFP).....	52

5) Les pièges	54
ETUDE CLINIQUE	56
1. INTRODUCTION	57
2. MATERIALS AND METHODS.....	58
A. Study population.....	58
B. MRI protocol	59
C. Images analysis.....	60
D. Data analysis	61
3. RESULTS.....	63
A. Population.....	63
B. Conspicuity and variants	63
C. Radioanatomical landmarks	66
4. DISCUSSION	76
5. CONCLUSION	78
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	79
ANNEXES	85

RESUME

CONTEXTE : L'IRM occupe une place centrale dans l'exploration du plexus lombosacral. Malgré la littérature abondante sur les nouvelles séquences IRM 3D dont le but est d'améliorer l'analyse du signal des nerfs du plexus lombosacral (3D STIR, 3D PSIF...), peu d'études se sont intéressées aux performances, en terme de précision anatomique, de la séquence morphologique 3D Turbo Spin echo T1.

OBJECTIFS : Analyser la visibilité, les variantes et les repères radioanatomiques des nerfs du plexus lombosacral sur une séquence 3D TSE T1 en IRM 3T.

MATERIELS ET METHODES : Nous avons analysé rétrospectivement toutes les IRM du pelvis incluant une séquence 3D isotropique (voxel reconstruit : 0,43x0,43x0,48mm) TSE T1 (TR/TE : 350/20,5ms) réalisées sur une IRM 3T entre janvier 2016 et décembre 2016. Les exclusions étaient en rapport avec un champ de vue inadapté pour le plexus, des artefacts et la recherche ou la découverte de neuropathies. La visibilité des branches principales des plexus lombal et sacral a été analysée en consensus par deux radiologues. Une sélection de variantes et des repères radioanatomiques ont aussi été analysés.

RESTULATS : 25 patients ont été exclus. 30 patients (14 femmes and 16 hommes, âge moyen : 49 +/- 18 ans) ont été inclus (60 plexus lombaux et sacraux). Les nerfs génito-fémoral, ilio-inguinal et ilio-hypogastrique ont été visualisés respectivement 8 (13%), 0 (0%) et 14 fois (23,3%). Le nerf cutané postérieur de la cuisse était différencié du nerf sciatique dans 40 cas (66,6%). Le nerf cutané latéral de la cuisse a été visualisé dans 48 cas (80%). Les nerfs fémoral, obturateur, glutéal supérieur, sciatique et pudental et le tronc lombosacré ont été visualisés dans tous les cas (100%). Les variantes proximales analysées du nerf fémoral étaient un trajet postérieur au muscle psoas (17 cas ; 28,3%) et un faisceau accessoire du muscle iliaque divisant le nerf (3 cas ; 5%). Une naissance du nerf cutané latéral de la cuisse à partir du nerf fémoral a été observée dans 2 cas (4,2%). Aucune division précoce de ce nerf dans le pelvis n'a été visualisée. Une division précoce du nerf obturateur dans le pelvis avant le foramen obturé a été retrouvée dans 7 cas (11,7%). Les variantes du tronc lombosacré étaient la non-union avec un trajet parallèle des branches L4 et L5 (5 cas ; 8,3%) et l'absence de contribution de la racine L4 (4 cas ; 6,7%). Le rapport du nerf sciatique avec le muscle piriforme a été classé, selon Anson et Beaton, en type A (56 cas ; 93,3%) et en type B (4 cas ; 6,7%). L'absence d'insertion du muscle piriforme sur le deuxième foramen sacré a été observée dans 15 cas (25%).

CONCLUSION : La séquence 3D isotropique TSE T1 permet une visualisation précise de la plupart des nerfs du plexus lombosacral et reconnaît certaines variantes anatomiques qui pourraient avoir des implications cliniques.

INTRODUCTION

L'imagerie a une place importante dans l'évaluation des nerfs du pelvis. La large gamme de pathologies atteignant le plexus lombosacral, la complexité de l'examen clinique et les difficultés d'interprétation des résultats de l'électromyogramme de cette région font que l'imagerie par résonance magnétique (IRM) a une place centrale. Elle apporte une aide au diagnostique et procure des informations anatomiques précises, impactant de manière significative la prise en charge du patient.

Cependant, cette imagerie reste considérée comme difficile par la plupart des radiologues pour plusieurs raisons :

- La complexité anatomique de la région
- Des protocoles d'imagerie utilisant des séquences spécifiques
- Des pathologies souvent peu connues des radiologues (neuropathies inflammatoires chroniques, neuropathies héréditaires...) et des tableaux cliniques atypiques posant aussi des difficultés aux cliniciens.

L'IRM du plexus lombosacral est en plein essor depuis l'avènement des machines à 3 Teslas. Elles permettent de réaliser des séquences 3D isotropiques avec une haute résolution spatiale dans des champs de vue larges, avec des temps d'acquisition acceptables en pratique quotidienne.

Sur les séquences morphologiques T1 2D, la plupart des nerfs du plexus lombosacral sont difficilement visualisables et l'analyse porte en réalité sur leur trajet théorique. Mais les séquences T1 3D avec des voxels infra-millimétriques isotropes permettraient, à priori, grâce à leur haute résolution spatiale, de visualiser directement ces nerfs de taille millimétrique pour certains.

Malgré la littérature abondante sur l'anatomie (études cadavériques et chirurgicales) et les pathologies du plexus lombosacral ainsi que sur les optimisations techniques des séquences IRM 3D dont le but est d'améliorer l'analyse du signal des nerfs du plexus (3D STIR, 3D PSIF, DWI...), peu d'études se sont intéressées aux performances, en terme de précision anatomique, de la séquence morphologique 3D Spin echo T1.

Le but de cette étude était d'analyser la visibilité des nerfs du plexus lombosacral sur une séquence 3D isotropique Turbo Spin Echo (TSE) pondérée en T1, d'analyser d'éventuelles variations anatomiques et de définir des repères radioanatomiques simples et constants pour repérer chaque nerf.

PREMIERE PARTIE :
CONTEXTE SCIENTIFIQUE

1. ANATOMIE DU PLEXUS LOMBOSACRAL

Chapitre réalisé à partir de plusieurs ouvrages anatomiques de référence, en utilisant la terminologie anatomique internationale. (1)(2)(3)(4)(5)(6)(7)(8)(9)

A. Plexus lombal

1) Définition

Classiquement le plexus lombal est défini comme l'anastomose des rameaux antérieurs des racines nerveuses L1, L2, L3 et L4.

En raison des nombreuses variations concernant la participation des racines formant le plexus lombal, une autre définition a été proposée par l'anatomiste André Hovelacque :
« Ce qui caractérise et définit le plexus lombal, ce sont ses branches de distribution, le nerf ilio-hypogastrique, le nerf ilio-inguinal, le nerf génito-fémoral, le nerf fémoral et le nerf obturateur. Sa limite supérieure sera représentée par la première racine donnant le premier de ces nerfs. Sa limite inférieure sera marquée par le premier nerf lombal se distribuant entièrement au plexus sacral. »

Le plexus lombal comprend donc :

- Les rameaux antérieurs des racines dont les anastomoses participent à l'élaboration des branches de divisions (classiquement L1, L2, L3, L4 et +/- T12).
- Les branches de division terminales : le nerf fémoral et le nerf obturateur.
- Les branches de division collatérales : nerf ilio-hypogastrique, nerf ilio-inguinal, nerf cutané latéral de la cuisse et nerf génito-fémoral.

- Quelques branches collatérales destinées à l'innervation du muscle carré des lombes, du muscle psoas et du muscle intertransversaire épineux (antérieur et postérieur).

2) Rapports anatomiques (figure 1)

L'anastomose des rameaux antérieurs des racines L1 à L4 s'étend classiquement en avant des processus transverses de L2 à L5, dans l'épaisseur du muscle psoas : en avant du chef transversaire et en arrière du chef corporel.

Les branches de divisions émergent en majorité du bord latéral du muscle psoas. Le nerf obturateur émerge quant à lui du bord médial du muscle psoas, alors que le nerf génito-fémoral traverse le muscle.

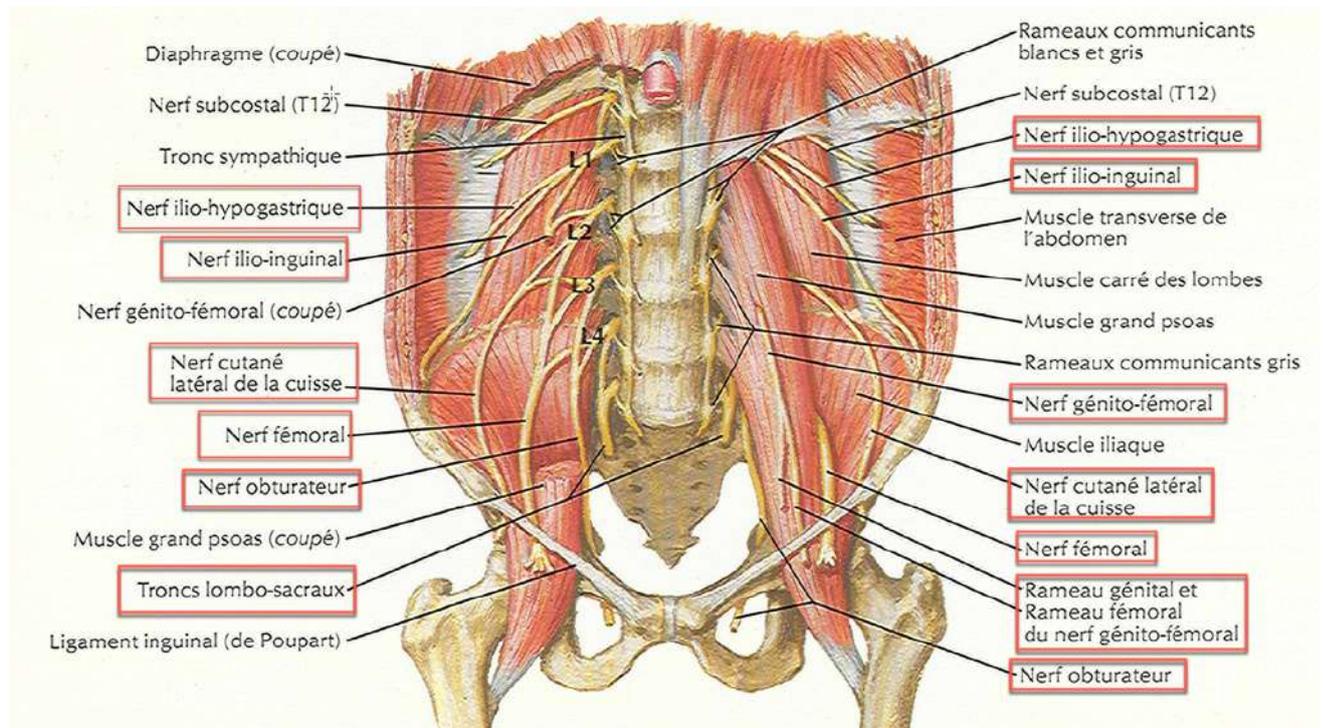


Figure 1 Rapport du plexus lombal et de ses branches avec le muscle psoas, d'après Netter

La sortie du pelvis se fait par divers orifices :

- Canal inguinal : branches génitales des nerfs ilio-hypogastrique, ilio-inguinal et génito-fémoral.
- Canal fémoral : nerf fémoral et branche fémoral du nerf génito-fémoral.
- Canal obturateur : nerf obturateur.
- Orifice au sein du ligament inguinal : nerf cutané latéral de la cuisse.

3) Systematisation (figure 2)

La racine L1 se divisent en 3 branches :

- Le nerf ilio-hypogastrique (qui reçoit souvent une anastomose de T12)
- Le nerf ilio-inguinal
- Une branche pour le nerf génito-fémoral

La racine L2 donne naissance aux :

- Nerf cutané latéral de la cuisse (qui reçoit une branche de L3).
- Nerf génito-fémoral (qui reçoit une branche de L1).
- L2 se divise ensuite en une branche antérieure et une branche postérieure donnant respectivement les racines supérieures du nerf obturateur et du nerf fémoral.

La racine L3 se divise en une branche antérieure et une branche postérieure formant respectivement les racines moyennes du nerf obturateur et du nerf fémoral. Elle participe également à la formation du nerf cutané latéral de la cuisse.

La racine L4 se divise en 3 branches (figures 3, 4, 5) :

- Une branche postérieure formant la racine inférieure du nerf fémoral
- Une branche antérieure formant la racine inférieure du nerf obturateur

- Une branche s'anastomosant avec L5 pour former le tronc lombosacral.

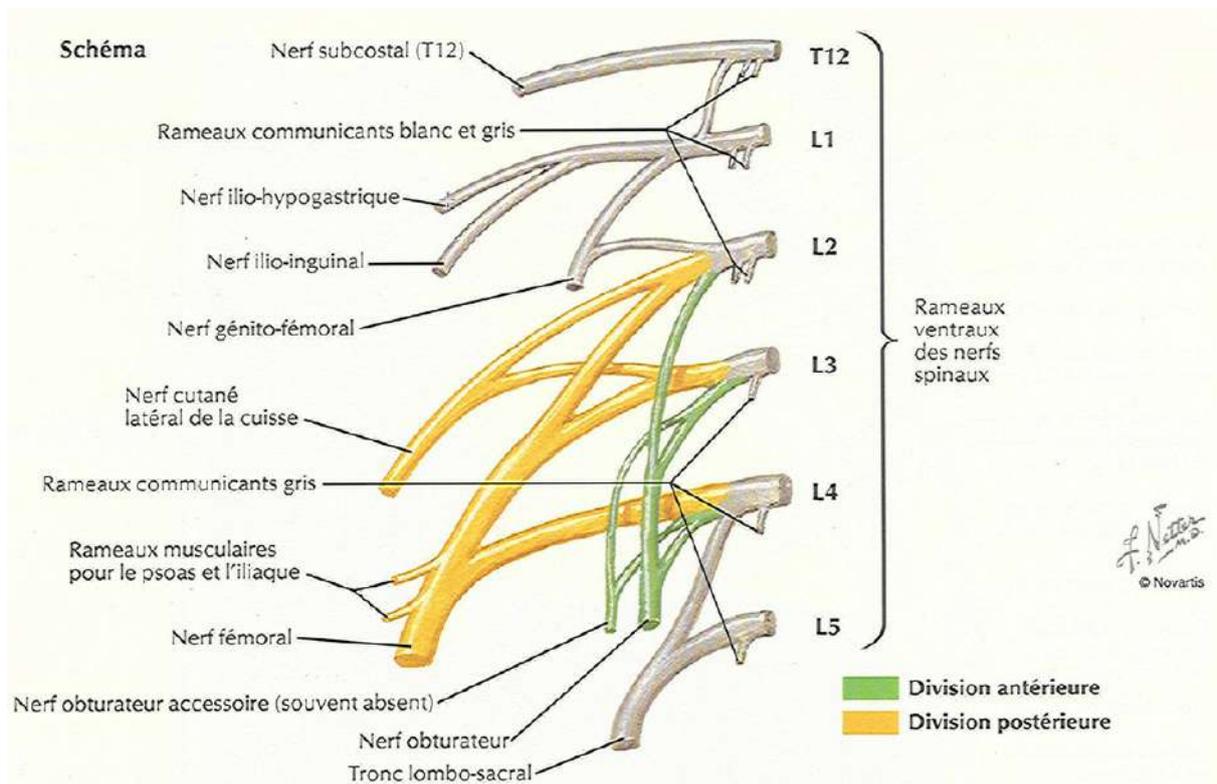


Figure 2 Systématisation du plexus lombal d'après Netter

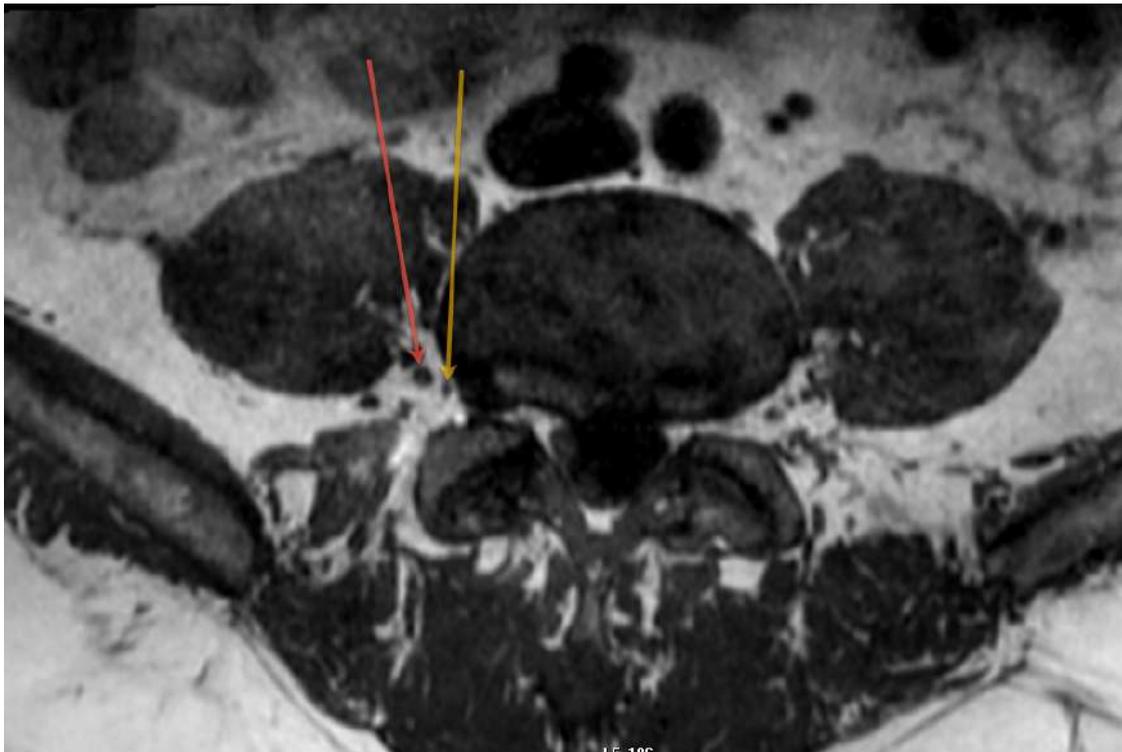


Figure 3 Visualisation de la racine L4 (flèche rouge) donnant l'anastomose (flèche jaune) rejoignant L5 pour la formation du tronc lombosacral. IRM Séquence 3D Spin écho T1 axiale.

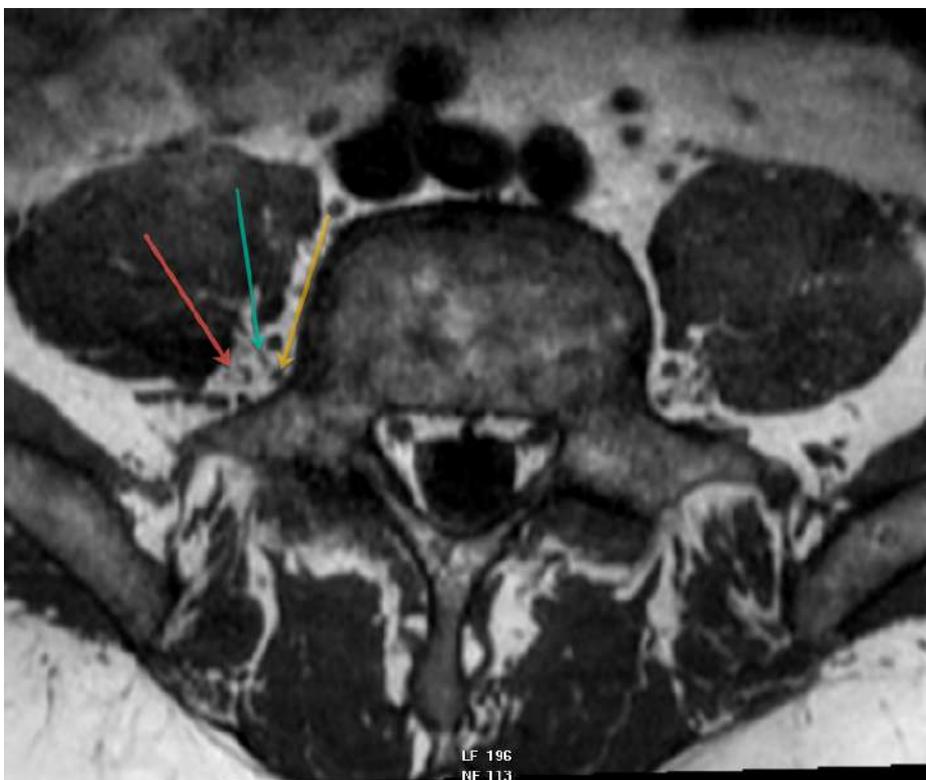


Figure 4 Coupe plus caudale par rapport à la figure 3. Division de la racine L4 en une branche postérieure (flèche rouge) formant la racine inférieure du nerf fémoral, et en une branche antérieure (flèche verte) formant la racine inférieure du nerf obturateur. On retrouve l'anastomose de L4 (flèche jaune) pour le tronc lombosacral. IRM Séquence 3D Spin echo T1 axiale.

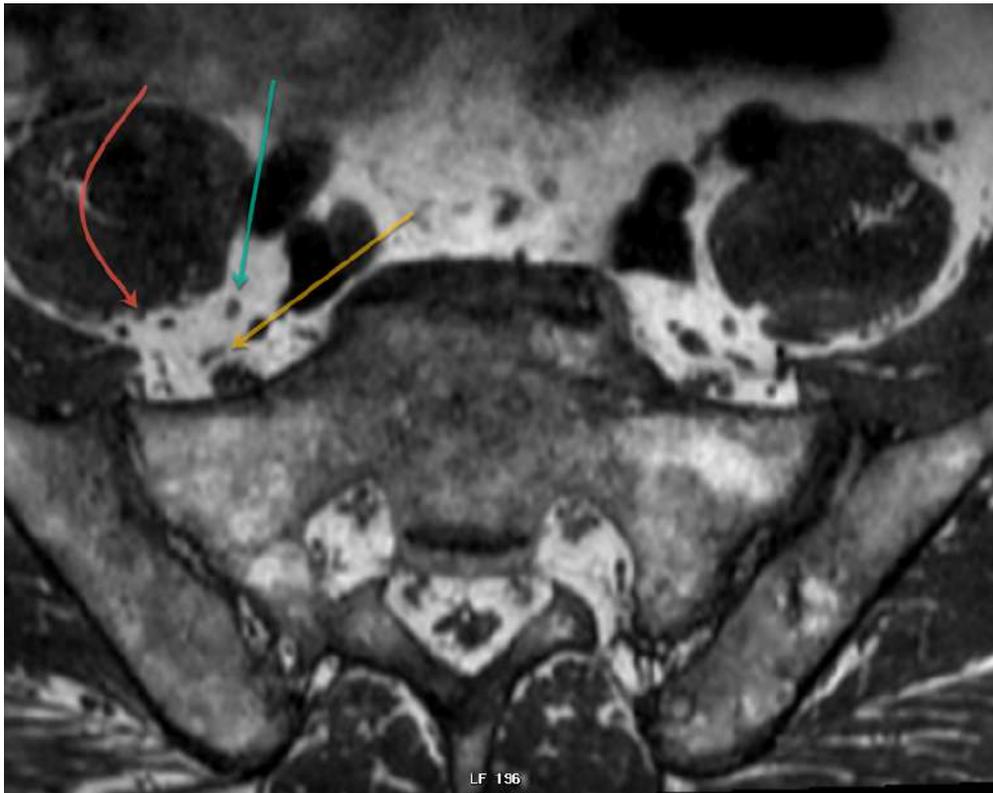


Figure 5 Coupe plus caudale que les figures 3 et 4. Visualisation des branches de divisions de L4 participant à la formation du nerf fémoral (flèche rouge), du nerf obturateur (flèche verte) et du tronc lombosacral (flèche jaune). IRM Séquence 3D Spin écho T1 axiale.

4) Le nerf ilio-hypogastrique

Nerf mixte.

Origine : L1 avec parfois une branche de T12.

Trajet : oblique en bas et en dehors, il émerge du bord latéral du muscle psoas, chemine sur la face antérieure du muscle carré des lombes, en arrière du rein et de la graisse para rénale (figures 6, 8). Il va ensuite perforer le muscle transverse de l'abdomen (à mi chemin entre la crête iliaque et l'extrémité de la douzième côte). Il chemine ensuite 3cm au dessus et parallèlement à la crête iliaque dans la paroi abdominale (figure 7), entre le muscle transverse en dedans et le muscle oblique interne en dehors, et donne au passage un rameau perforant latéral sous cutané qui va croiser la crête iliaque à l'aplomb du grand trochanter pour assurer l'innervation sensitive de la partie supéro-latérale de la région

gluteal et de la cuisse. Au niveau de l'épine iliaque antéro-supérieure (EIAS), le nerf perfore l'aponévrose du muscle oblique interne et se divise en deux branches ou alors la division se fait avant l'EIAS et ce sont alors les deux branches de division qui perforent le muscle oblique interne :

- Une branche abdominale qui présente un trajet horizontal, de dehors en dedans, parallèle au ligament inguinal, pour venir se terminer au niveau du bord latéral du muscle droit de l'abdomen en assurant l'innervation sensitive cutanée et motrice de cette région, via un rameau cutané et musculo-cutané.
- Une branche génitale qui chemine aussi entre les muscles oblique interne et oblique externe pour atteindre le canal inguinal qu'elle parcourt dans toute son étendue. Au sortir de ce canal, cette branche va innerver la peau de la région pubienne, la peau du scrotum chez l'homme et des grandes lèvres chez la femme, via un rameau pubien et génital.

Au cours de son trajet, ce nerf donne des rameaux musculaires pour le muscle transverse et le muscle oblique interne.

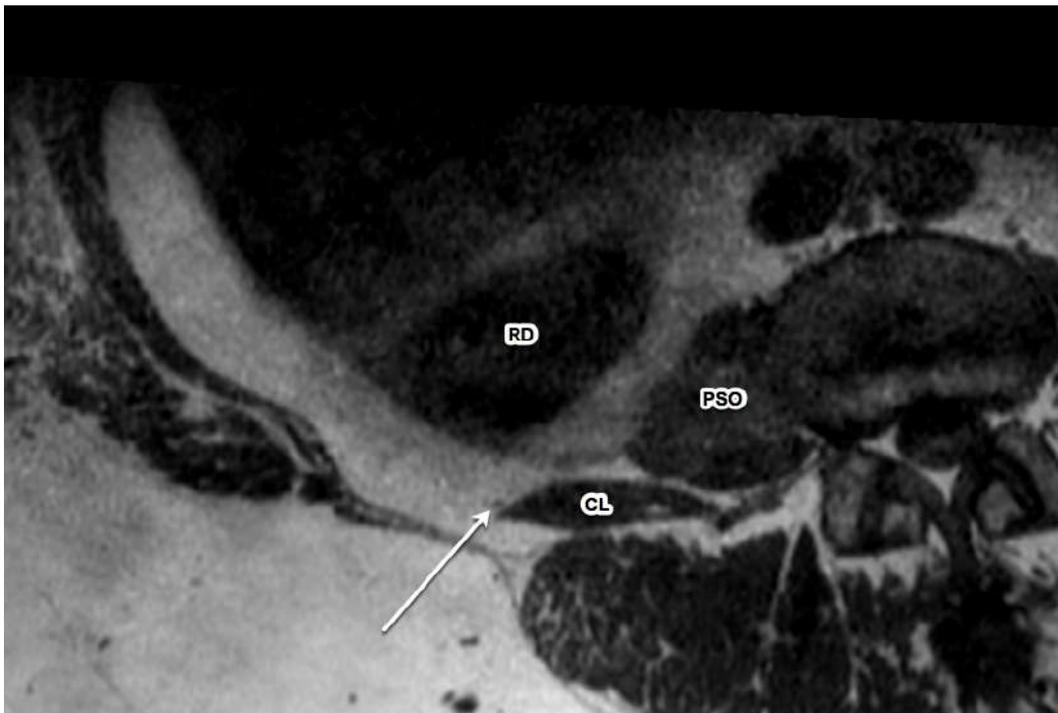


Figure 6 Nerf ilio-hypogastrique (flèche blanche) situé sur la face antérieure du muscle carré des lombes (CL), en arrière du rein (RD). IRM Séquence 3D Spin écho T1 axiale.

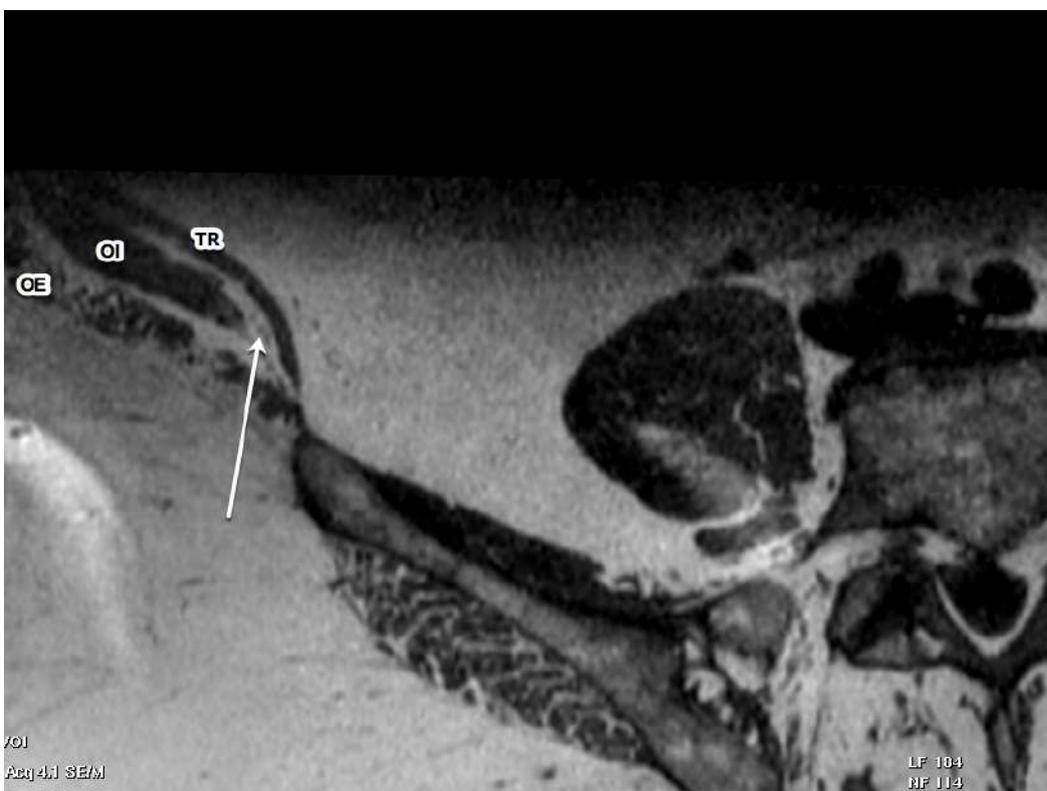


Figure 7 Nerf ilio-hypogastrique (flèche blanche) après avoir traversé le muscle transverse (TR). Oblique interne (OI), Oblique externe (OE). IRM Séquence 3D Spin écho T1 axiale.

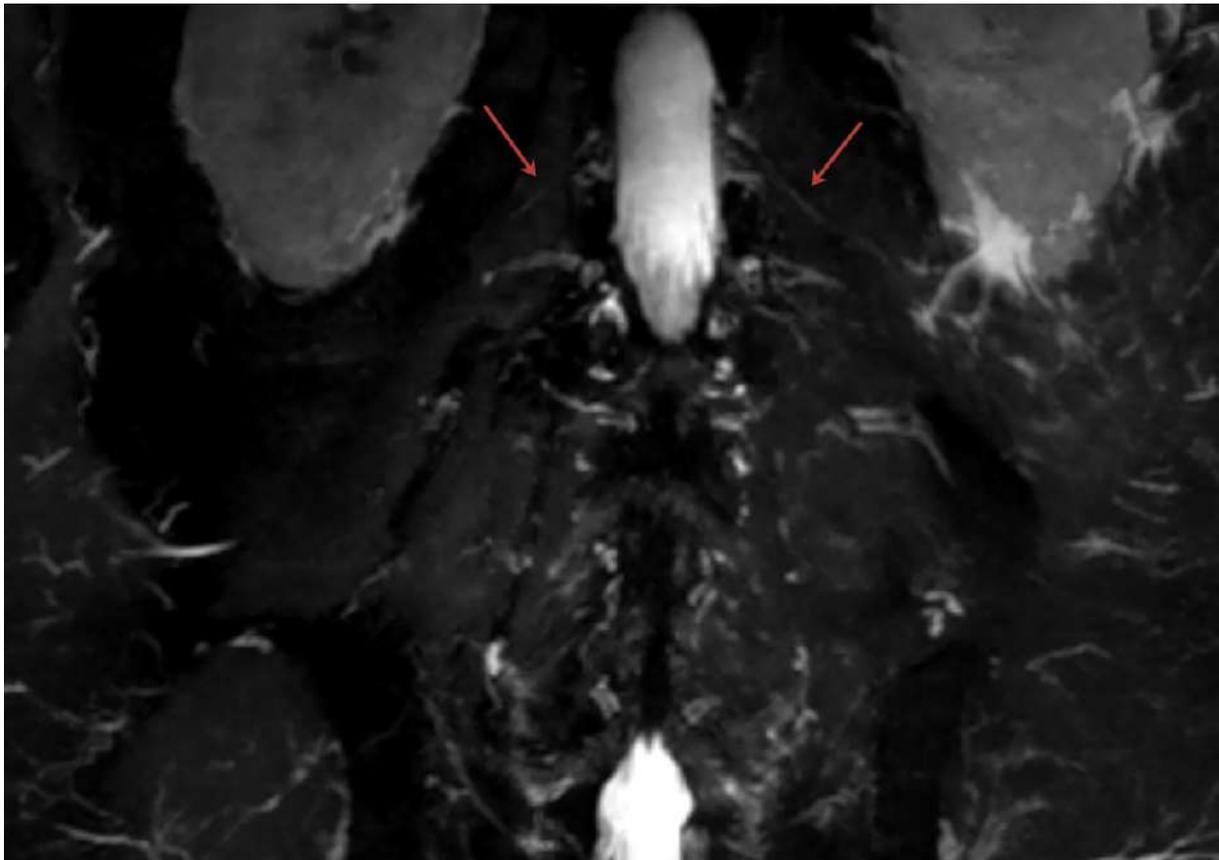


Figure 8 Nerfs ilio-hypogastriques. *IRM Séquence 3D Spin echo STIR SPIR coronale.*

5) Le nerf ilio-inguinal

Nerf mixte.

Origine : L1.

Trajet : nettement plus grêle par rapport au nerf précédent, Il présente un trajet semblable, parallèle à celui-ci, dans l'épaisseur de la paroi abdominale, et se divise lui aussi à proximité de l'EIAS en deux branches :

- Une branche abdominale qui s'anastomose avec la branche du même nom du nerf ilio-hypogastrique pour assurer l'innervation cutanée de la région pubienne.
- Une branche génitale qui va suivre le canal inguinal pour assurer l'innervation de la partie toute supéro-médiale de la cuisse, de la racine du pénis et du scrotum chez l'homme, et des grandes lèvres chez la femme.

Ces deux nerfs, ilio-hypogastrique et ilio-inguinal, qui présentent un trajet curviligne dans la paroi abdominale, présentent des similitudes avec les nerfs intercostaux.

6) Le nerf cutané latéral de la cuisse

Nerf strictement sensitif, le seul.

Origine : L2 et L3.

Trajet : oblique latéralement vers l'EIAS. Il émerge du bord latéral du muscle psoas au niveau de la crête iliaque (*figures 9, 12*), puis chemine sur le muscle iliaque (*figures 10, 11*), dans son aponévrose, et sort du bassin dans un tunnel ostéo fibreux formé par un dédoublement du ligament inguinal (ou sous ce ligament inguinal), à environ 1cm en dessous et en dedans de l'EIAS. Dans la partie proximale de la cuisse, le nerf se place en dehors ou devant le muscle Sartorius, croisé par l'artère circonflexe iliaque, puis se divise en deux branches, antérieure et postérieure, qui vont respectivement innerver la région antéro-latérale de la cuisse jusqu'au genou et la région supéro-latérale de la cuisse du grand trochanter au milieu de la cuisse.



Figure 9 Nerf cutané latéral de la cuisse (flèche blanche) émergeant du bord latéral muscle psoas. IRM Séquence 3D Spin echo T1 axiale.



Figure 10 Nerf cutané latéral de la cuisse (flèche blanche) se plaçant sur la face antérieure du muscle iliaque. IRM Séquence 3DT1 Spin echo axiale.

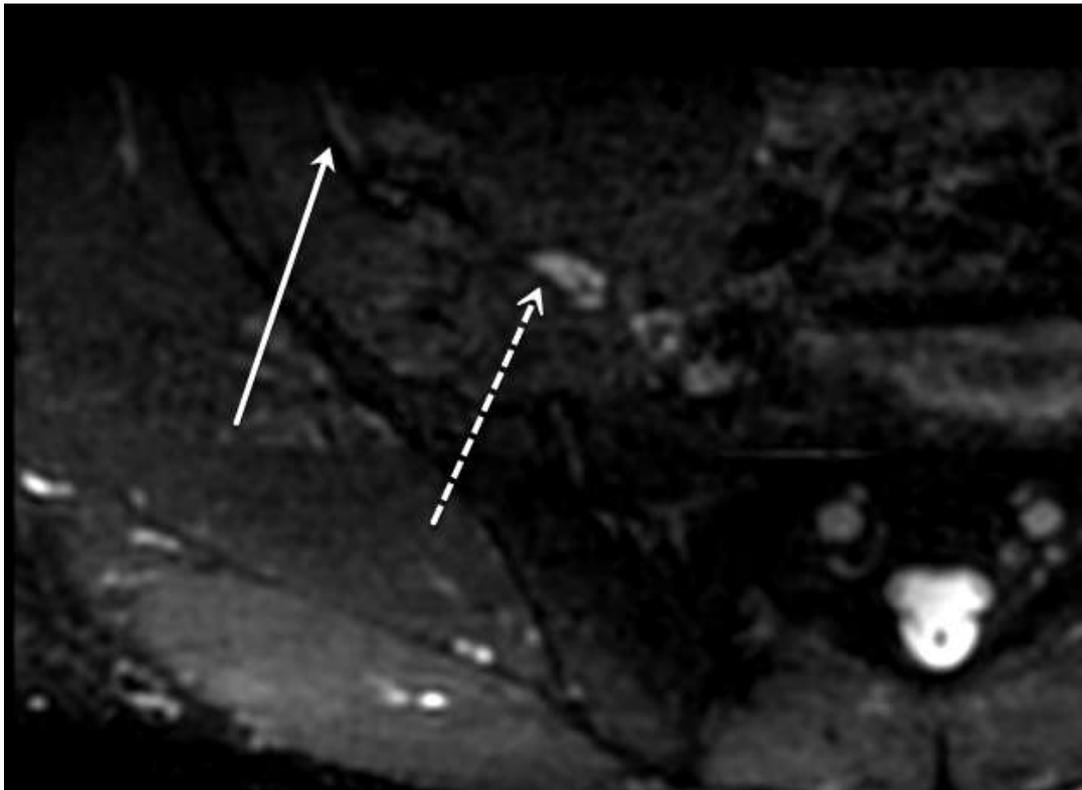


Figure 11 Nerf cutané latéral de la cuisse (flèche continue) sur la face antérieure du muscle iliaque avant son émergence sous le ligament inguinal. Notez la différence de calibre avec le Nerf fémoral (flèche discontinue), plus médiale. IRM Séquence 3D Spin echo STIR SPIR axiale.

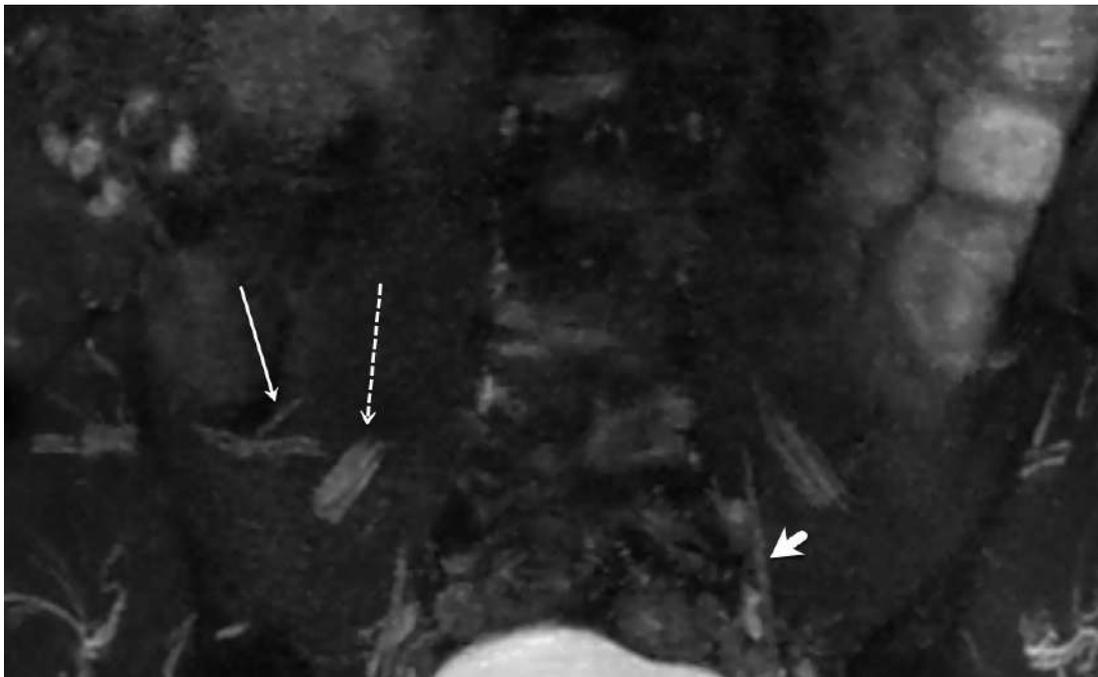


Figure 12 Nerf cutané latéral de la cuisse (flèche continue). Nerf fémoral (flèche discontinue). Visualisation du nerf obturateur (petite flèche) avec son trajet quasiment vertical. Séquence 3D Spin Echo STIR SPIR coronale.

7) Le nerf génito-fémoral

Nerf mixte.

Origine : L1 et L2.

Trajet : Il transperce le muscle psoas à hauteur du disque L3-L4 puis descend sur sa face antérieure (*figure 13*) sous l'aponévrose du muscle ou dans un dédoublement de celle-ci, où il est croisé par l'uretère en avant. Il longe latéralement les vaisseaux testiculaires ou ovariens puis les vaisseaux iliaques externes pour ensuite se diviser en un point très variable en ses deux branches terminales :

- Une branche génitale qui entre dans le canal inguinal et longe le cordon spermatique chez l'homme et le ligament rond chez la femme, pour assurer l'innervation du muscle crémaster et du scrotum chez l'homme et des grandes lèvres chez la femme.
- Une branche fémorale qui se dirige avec l'artère iliaque externe vers le canal fémoral. Elle croise perpendiculairement l'artère circonflexe iliaque, puis passe sous le versant latéral du ligament inguinal, pour se placer sur le versant latéral de l'artère fémorale. Elle perfore ensuite le fascia criblé environ 2cm sous ce ligament, pour assurer l'innervation des téguments de la partie supérieure du triangle fémoral.

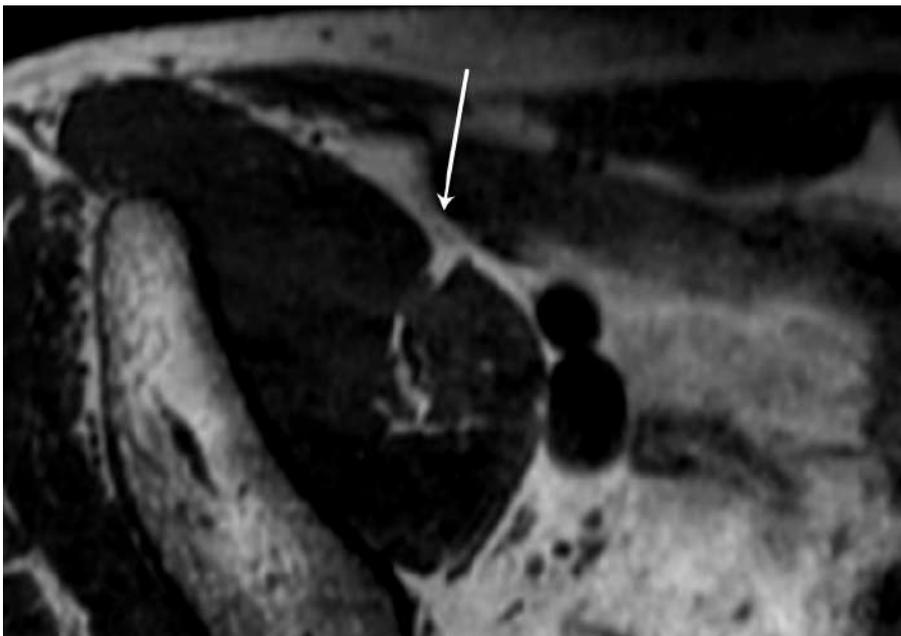


Figure 13 *Nerf génito-fémoral (flèche blanche) sur la face antérieure du muscle iliaque. Nerf de petit calibre. IRM Séquence 3D Spin echo T1 axiale.*

8) Le nerf obturateur

Nerf mixte, nerf de l'adduction.

Branche terminale du plexus lombal.

Origine : Réunion des branches antérieures de L2, L3 et L4.

Trajet : Il émerge du bord médial du muscle psoas sous les vaisseaux iliaques primitifs et présente un trajet vertical (*figures 17, 18*). Il passe devant le processus transverse de L5, devant l'aileron sacré, puis croise l'articulation sacro-iliaque.

Ses rapports sont (*figure 14*) :

- Latéralement : le nerf fémoral et le muscle psoas.
- Médialement : le tronc lombosacral (formé des racines L4 et L5), La vertèbre L5 et le promontoire.
- Antérieurement : La bifurcation des vaisseaux iliaques primitifs.

Il longe ensuite la face interne de la paroi du petit bassin tapissée par le muscle obturateur interne et son fascia (*figure 15*). Il traverse la partie supéro-médiale du foramen obturé (*figure 16*) et se place en profondeur du muscle pectiné, pour se diviser en deux branches, antérieure (en avant du muscle court adducteur) et postérieure (en arrière du muscle court adducteur).

Ce nerf assure l'innervation motrice des muscles adducteurs : obturateur externe, pectiné, long adducteur, court adducteur, grand adducteur et gracile.

Il a aussi un rôle sensitif en innervant la face médiale de la partie distale de la cuisse et du genou.

Il existe dans environ 12% des cas, le nerf obturateur accessoire, issue de L3 et L4, venant se placer latéralement au nerf obturateur. Au niveau de l'entrée du petit bassin, il s'écarte du nerf obturateur pour suivre le bord médial du muscle psoas, pour passer au dessus de la branche ilio-pubienne dans le canal fémoral et se placer en arrière du muscle pectiné. Il

s'anastomose avec le nerf obturateur après avoir donné des rameaux pour l'articulation coxo-fémorale et la peau du trigone fémoral.

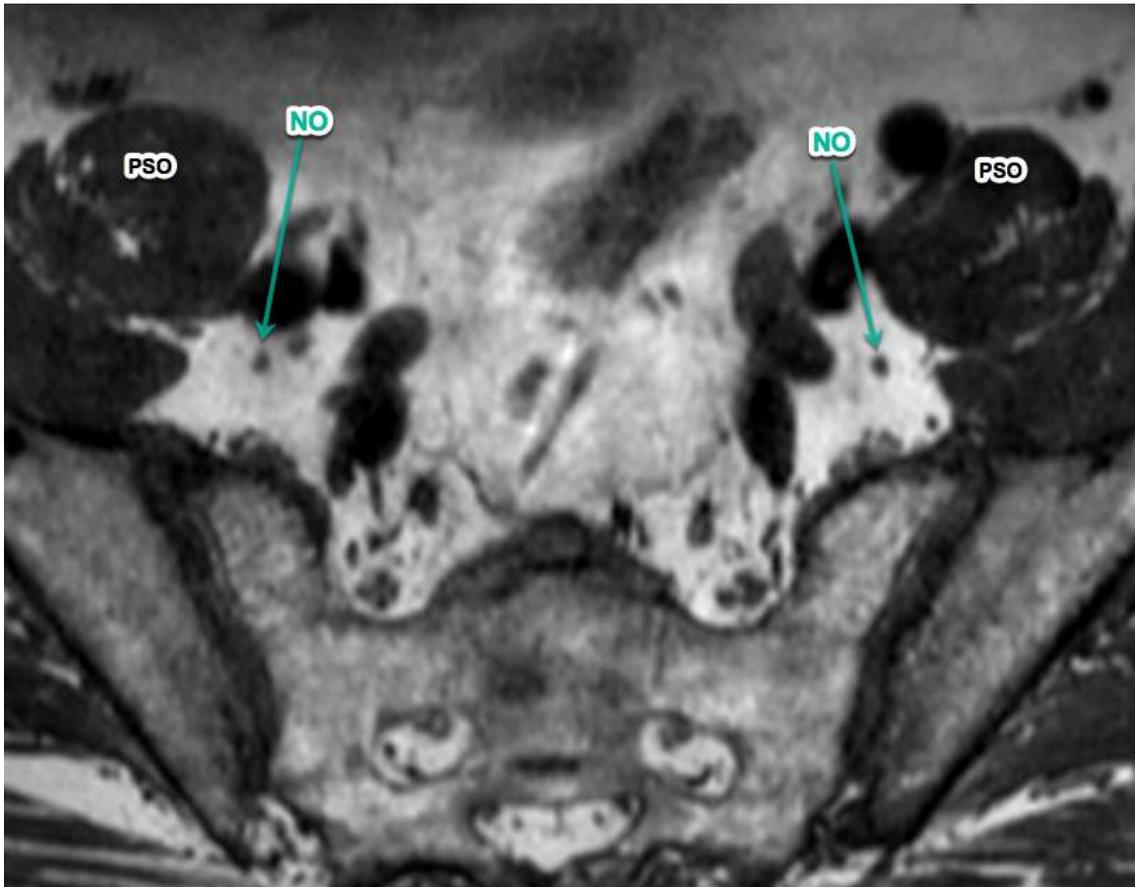


Figure 14 Nerfs obturateurs. Coupe juste sous le promontoire. Nerfs (flèches vertes) bien visualisés, en dedans du muscle psoas et du nerf fémoral, en arrière de la bifurcation des vaisseaux iliaques, en avant du tronc lombosacral. IRM Séquence 3D Spin echo T1 axiale.

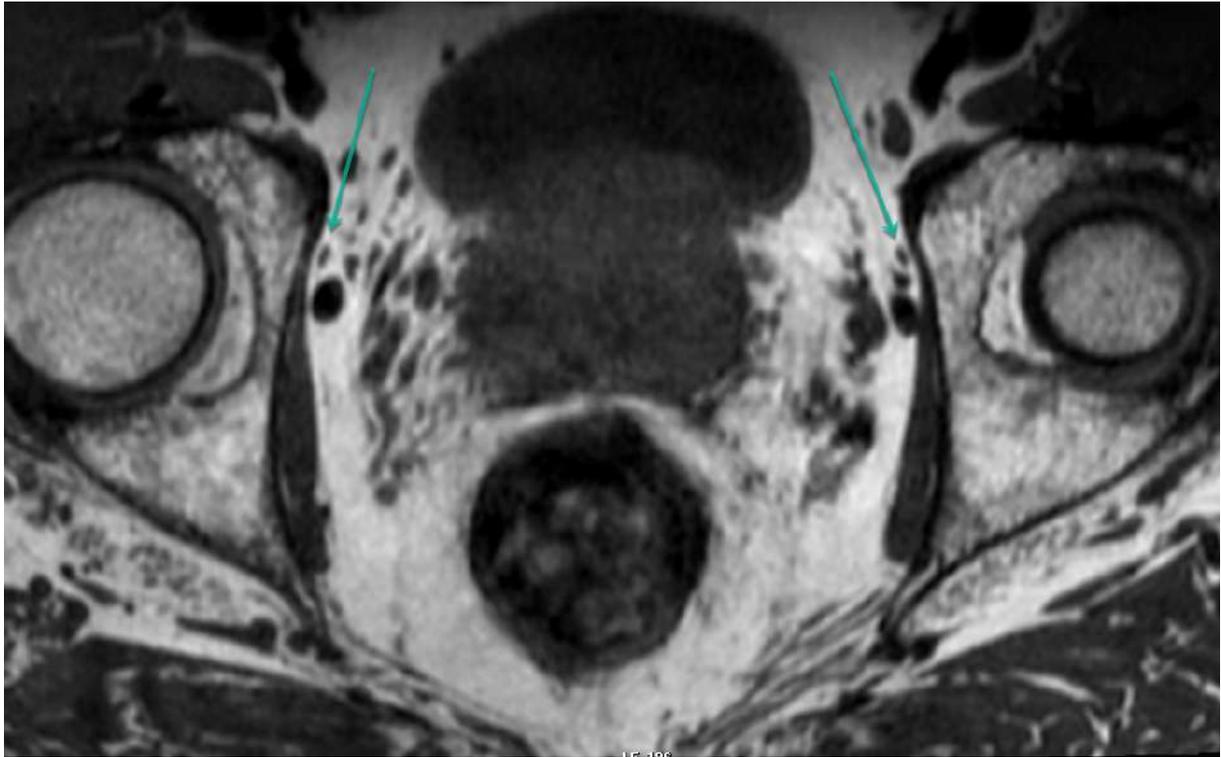


Figure 15 Nerfs obturateurs (flèches vertes) se plaçant contre la paroi interne du bassin tapissée par le muscle obturateur interne.

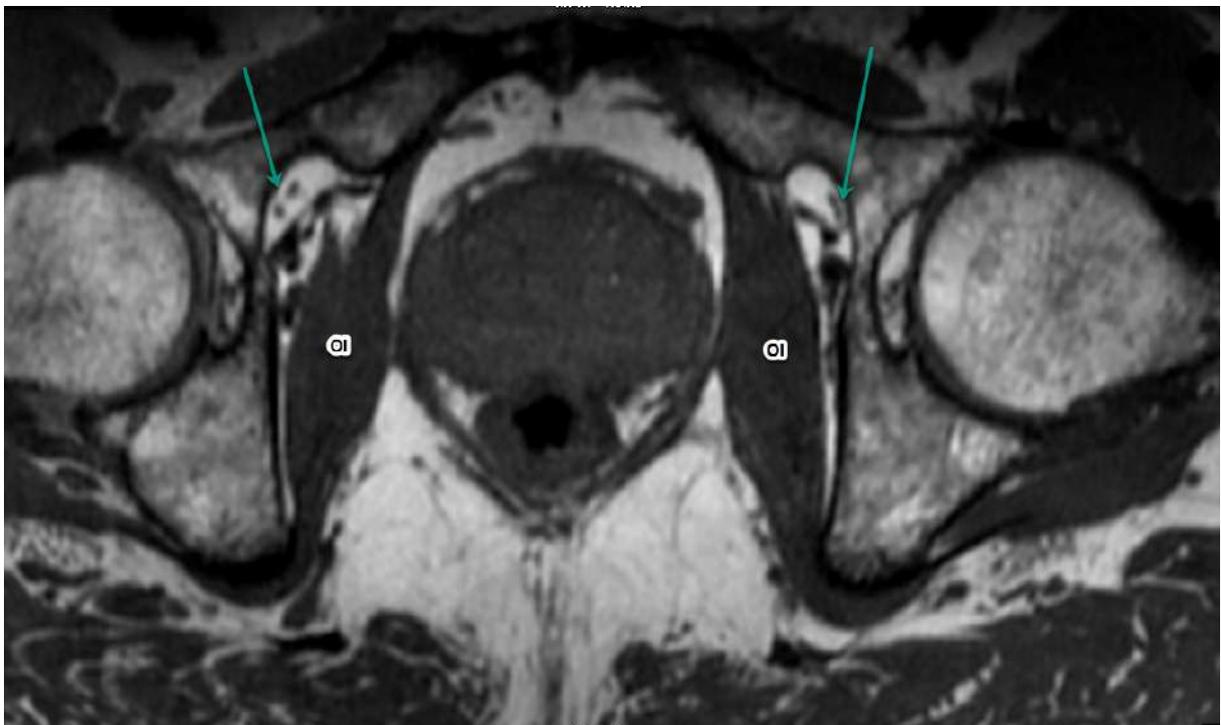


Figure 16 Nerfs obturateurs (flèches vertes) se divisant en leurs branches antérieures et postérieures dans la portion supérieure du foramen obturé. IRM Séquence 3D Spin echo T1 axiale.



Figure 17 Nerfs obturateurs avec leur trajet vertical caractéristique. IRM Séquence 3D Spin echo T1 coronale.

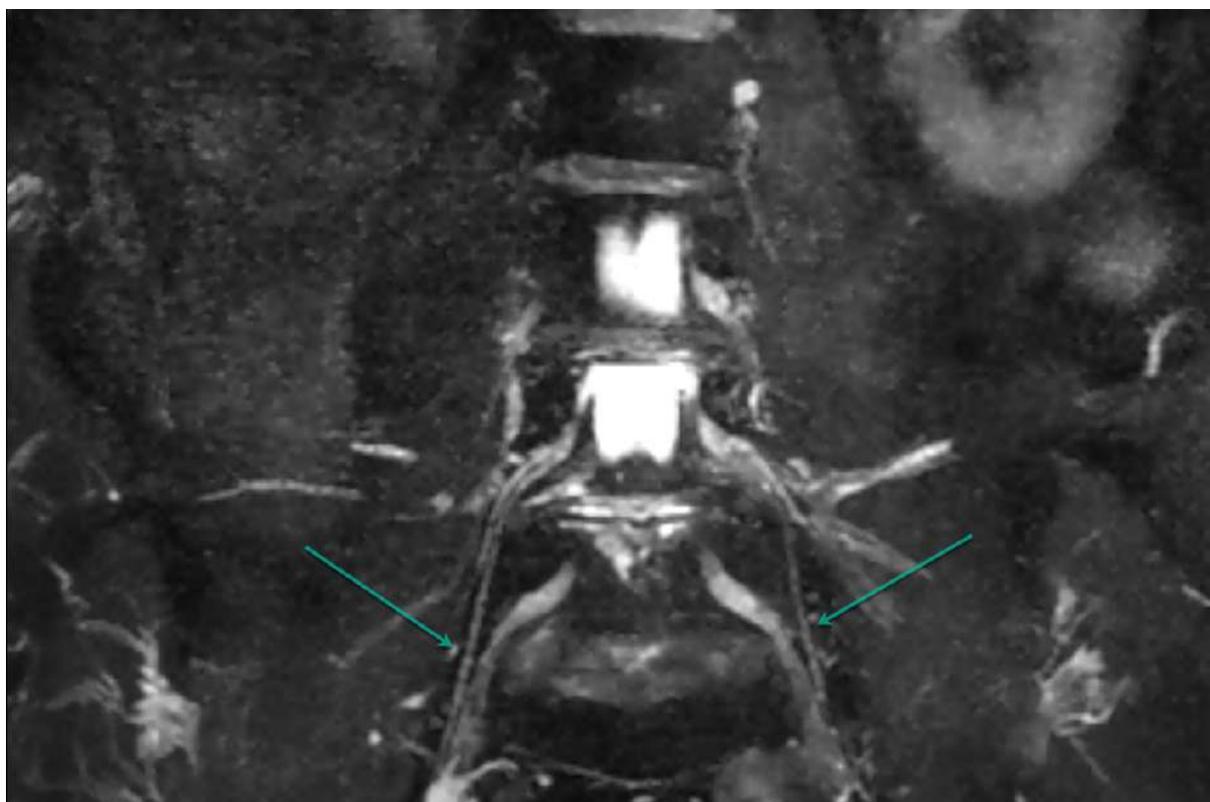


Figure 18 Nerfs obturateurs. IRM Séquence 3D Spin echo STIR SPIR coronale.

9) Le nerf fémoral

Nerf mixte, nerf de la flexion de la cuisse sur le bassin.

Le plus volumineux.

Origine : Réunion des branches postérieures de L2, L3 et L4.

Trajet : Dans la région lombaire, il descend en bas et en dehors entre les deux chefs du muscle psoas (*figure 19*). Dans la fosse iliaque, il émerge du bord latéral du muscle psoas, puis chemine entre le bord latéral du psoas et la face antérieure du muscle iliaque (*figure 20*). Le bord médial du psoas est lui longé par l'artère iliaque externe. Le nerf fémoral et l'artère iliaque externe sont donc séparés par toute l'épaisseur du psoas.

Environ 5cm avant de passer sous le ligament inguinal en dehors de l'artère fémorale, il donne une branche motrice pour l'innervation des muscles iliaque et psoas. Dans la partie toute proximale de la cuisse il est situé dans un canal formé par le ligament inguinal, le muscle ilio-psoas et la bandelette ilio-pectiné (*figure 21*). A cet endroit, il se divise en une multitude de branches (aspect en patte d'oie), antérieures pour les muscles pectiné et sartorius, et postérieures pour le muscle quadriceps. Le nerf saphène provient des branches de division postérieures et est responsable de l'innervation cutanée de la face médiale de la cuisse.

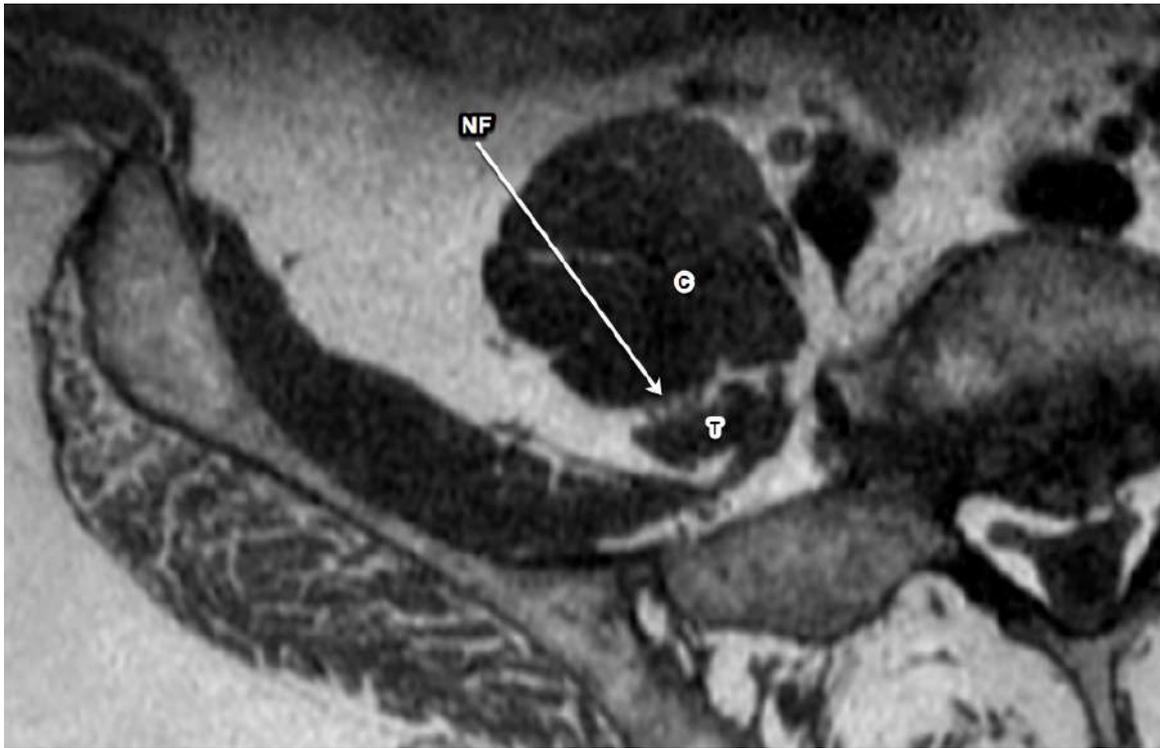


Figure 19 *Nerf fémoral (flèche blanche) entre les deux plans, corporéal (c) et transversaire (t), du muscle psoas. IRM Séquence 3D Spin echo T1axiale.*

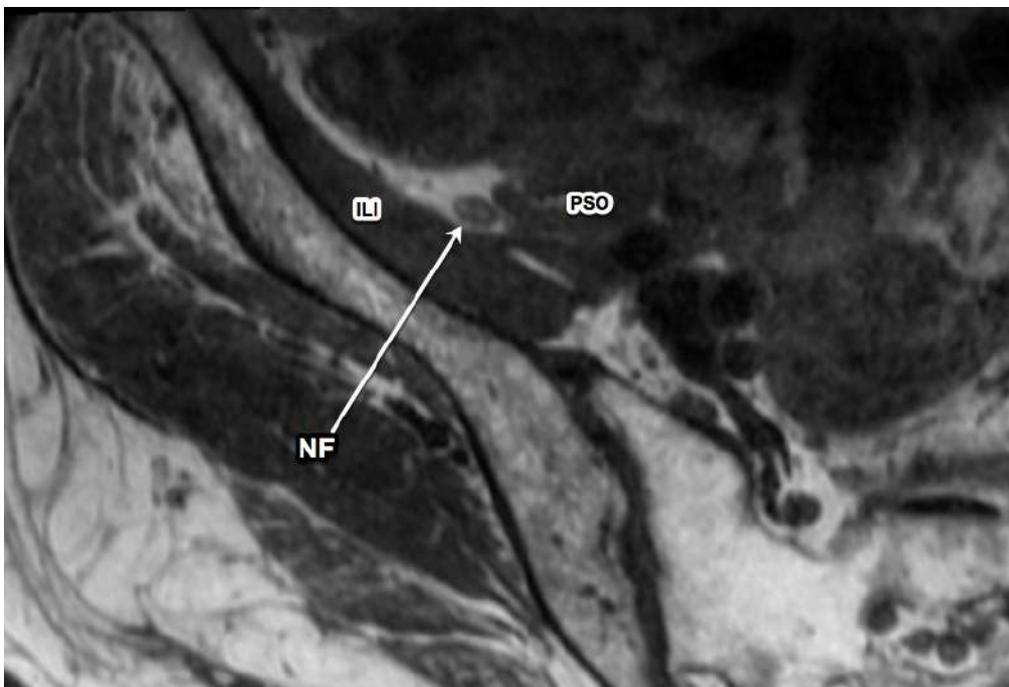


Figure 20 *Nerf fémoral (flèche blanche) émergeant du bord latéral du muscle psoas. IRM Séquence 3D T1 Spin echo axiale.*

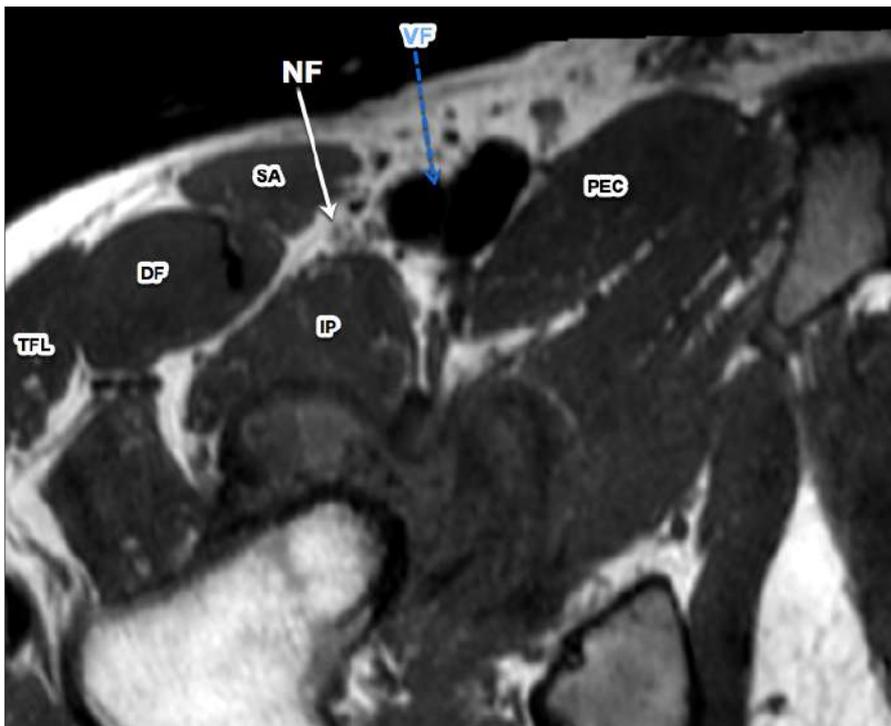


Figure 21 Nerf fémoral. Coupe sous le niveau du ligament inguinal dans la partie proximale de la cuisse. Nerf fémoral (flèche blanche) en dehors des vaisseaux fémoraux communs (flèche bleue), cheminant à la face profonde du sartorius (SA). Droit fémoral (DF), Ilio-psoas (IL), Pectiné (PEC), Tenseur du fascia lata (TFL). IRM Séquence 3D T1 Spin echo axiale.

B. Plexus sacral

1) Définition

Classiquement le plexus sacral est défini comme l'anastomose du tronc lombosacral et des rameaux antérieurs des racines nerveuses S1, S2, S3 et S4.

Certains auteurs le divisent en deux parties :

-le plexus « sacral » à proprement parler, innervant le membre inférieur et la ceinture pelvienne.

-le plexus pudendal (honteux), innervant le périnée, les organes génitaux externes et les viscères pelviens, dont le nerf pudendal en est la branche terminale.

Les principales branches de division du plexus sacral sont (figure 23) :

- Branches collatérales : nerf glutéal supérieur, nerf cutané postérieur de la cuisse, nerf glutéal inférieur et nerf pudendal.
- Branche terminale : nerf sciatique
- A noter l'existence de quelques rameaux directs musculaires dont le nerf du piriforme, le nerf de l'obturateur interne (différent du nerf obturateur du plexus lombal), le nerf du jumeau supérieur, le nerf du jumeau inférieur ainsi que le nerf du carré fémoral.

2) Rapports anatomiques (*figures 22, 25*)

Le plexus sacral longe la face antérieure du muscle piriforme qui est la structure anatomique clé pour l'identification de ses branches, à l'instar du muscle psoas dans le plexus lombal. En avant il est recouvert par le fascia pelvien profond qui le sépare des viscères contenus dans le petit bassin.

En dehors du plexus se trouve le muscle obturateur interne, les vaisseaux iliaques internes, l'uretère et la grande incisure ischiatique. En dedans il répond au rectum et à la chaîne sympathique sacrée avec laquelle il s'anastomose.

L'artère glutéales supérieure (branche terminale du tronc postérieur de l'artère iliaque interne), passe entre le tronc lombosacral et S1 (*figure 24*), tandis que l'artère glutéale inférieure (branche terminale du tronc antérieur de l'artère iliaque interne) passe entre S1 et S2.

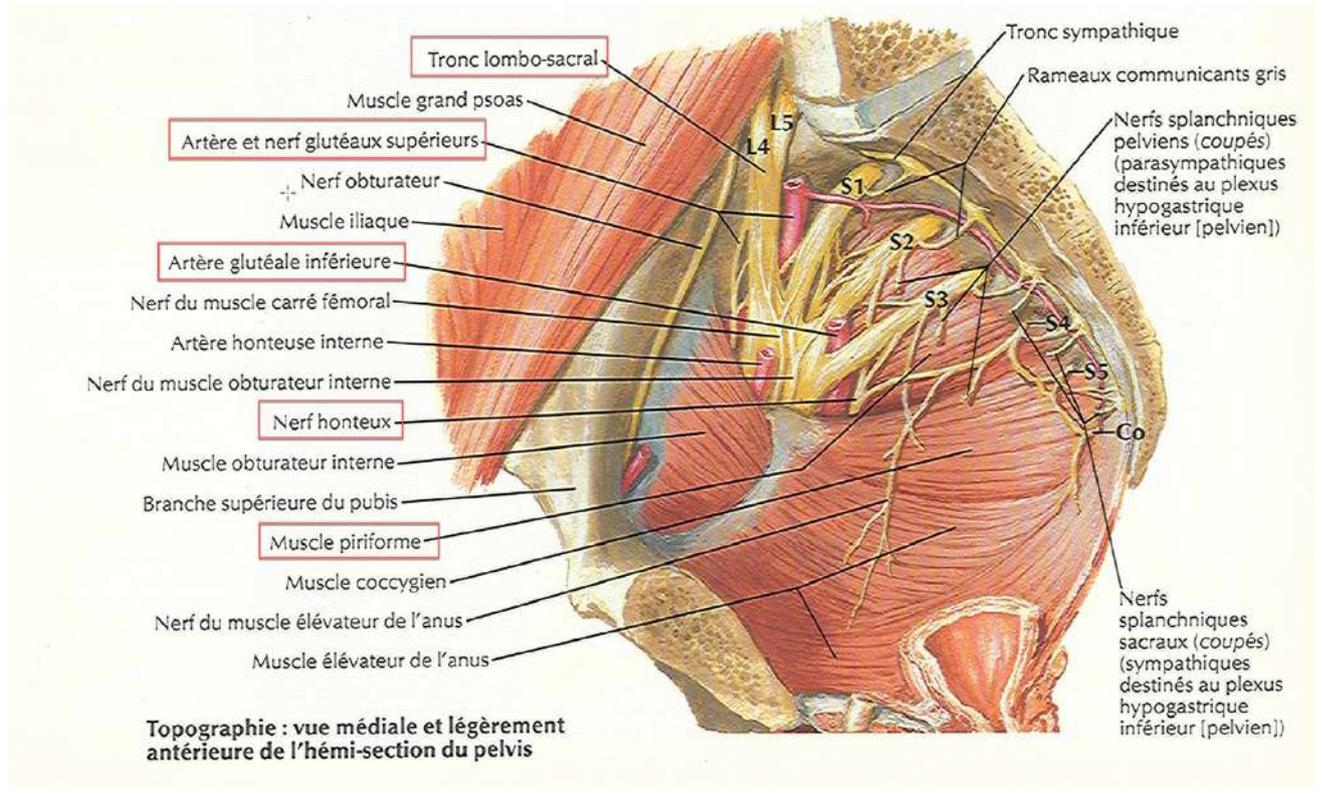


Figure 22 Rapports anatomiques du plexus sacral, d'après Netter.

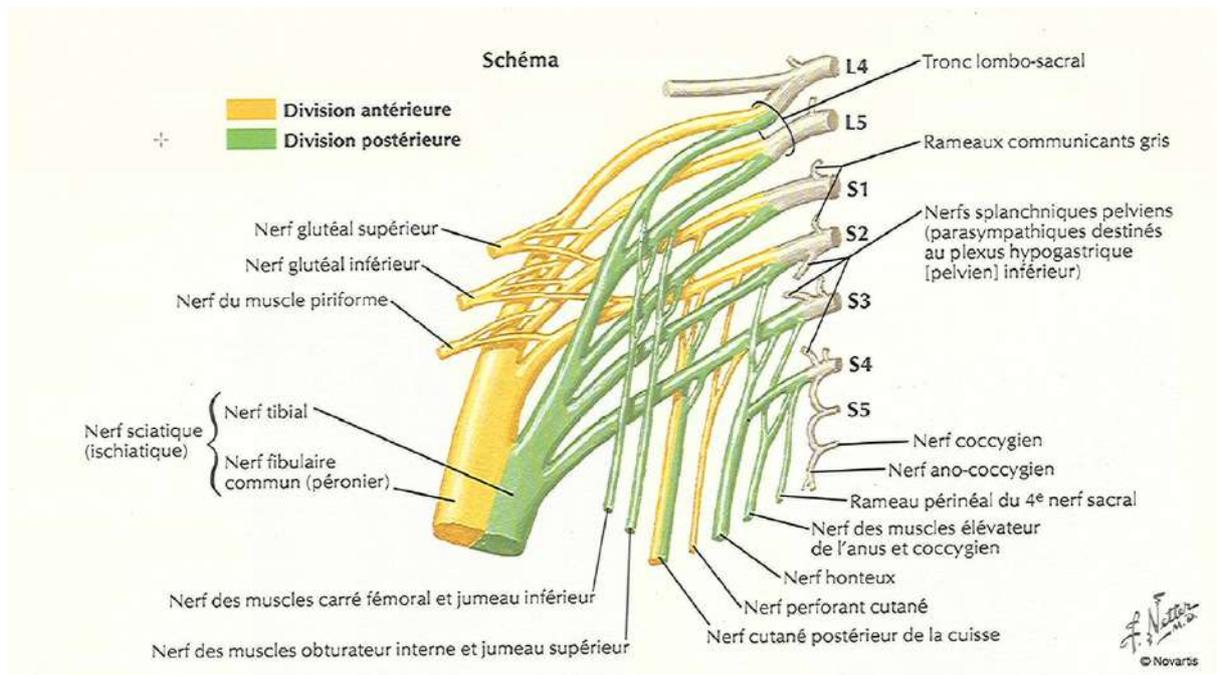


Figure 23 Systématisation du plexus sacral, d'après Netter

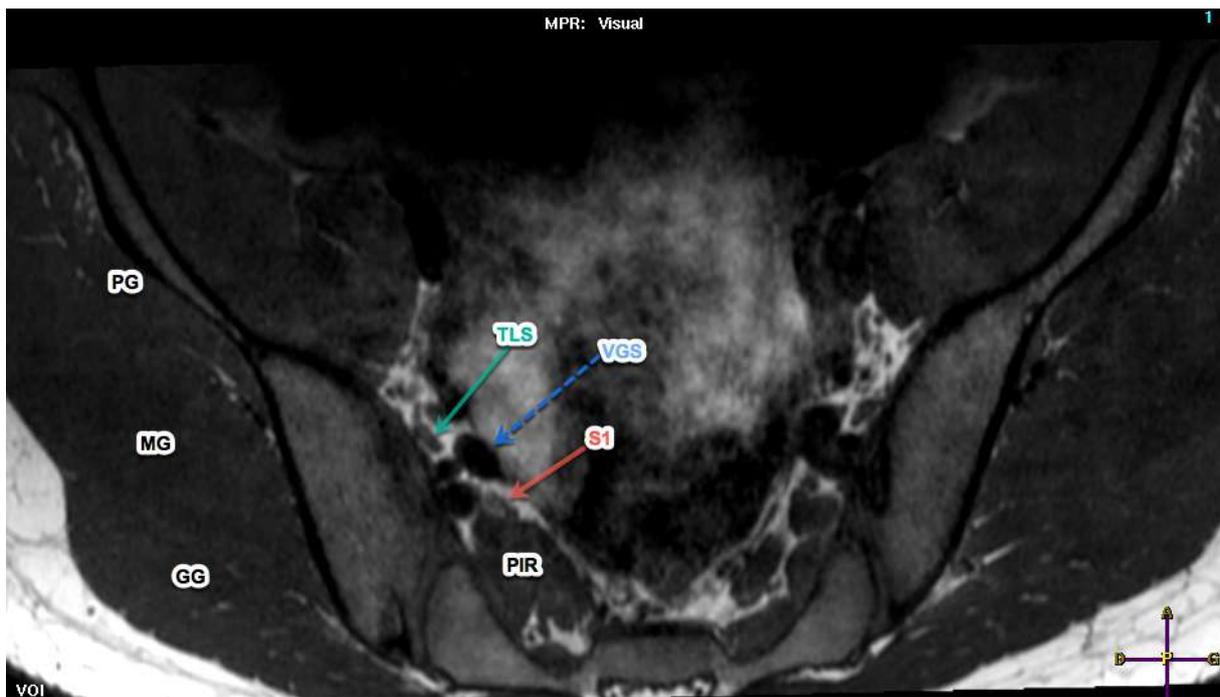


Figure 24 Vaisseaux glutéaux supérieurs (flèche bleue) entre le tronc lombosacral (flèche verte) et la racine S1 (flèche rouge). IRM Séquence 3D Spin echo T1 axiale.

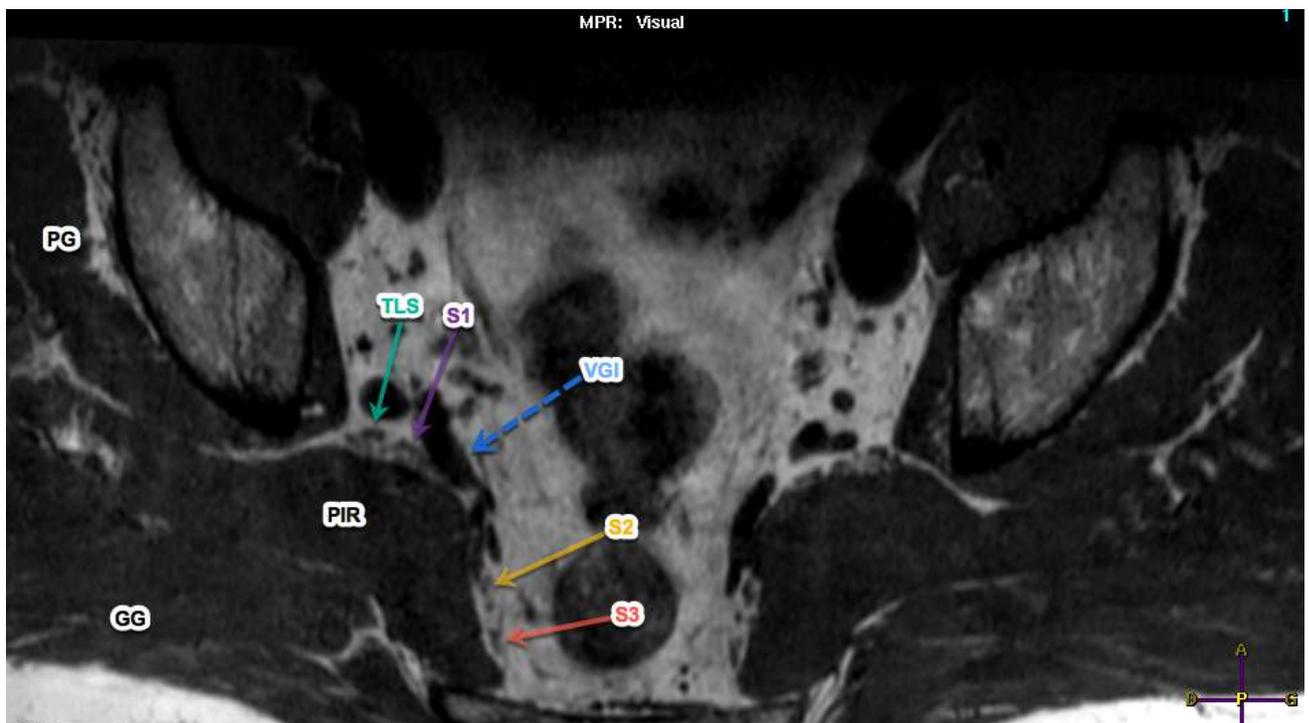


Figure 25 Racines formant le plexus sacral contre le muscle piriforme (PIR). Vaisseaux glutéaux inférieurs (flèche bleue). IRM Séquence 3D Spin écho T1 axiale

3) Le tronc lombosacral (figures 26, 27)

Le tronc lombosacral est formé par tout le rameau antérieur de la racine L5 recevant une anastomose de la racine L4. Il émerge du bord médial du muscle psoas pour descendre devant l'articulation sacro-iliaque.

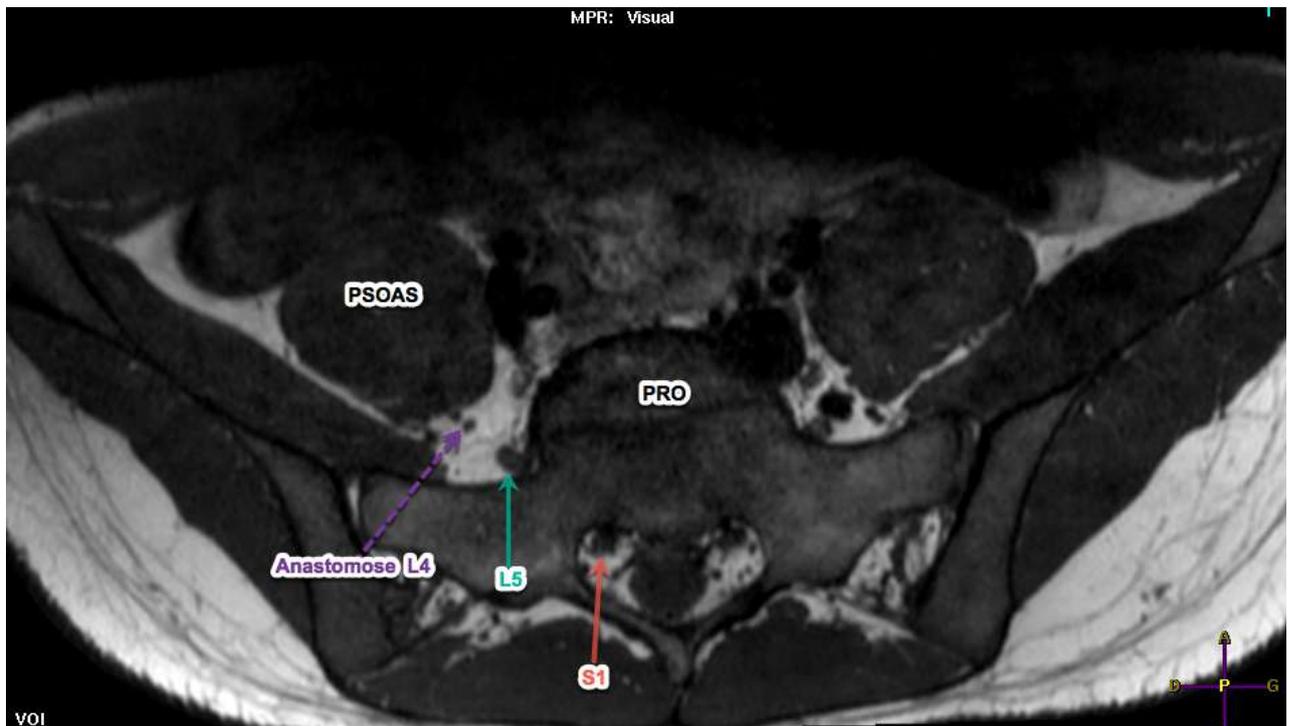


Figure 26 Racine L5 (flèche verte) dans la concavité du promontoire. Visualisation de l'anastomose envoyée par L4 qui va rejoindre L5 pour former le tronc lombosacral. IRM Séquence 3D Spin echo T1 axiale.

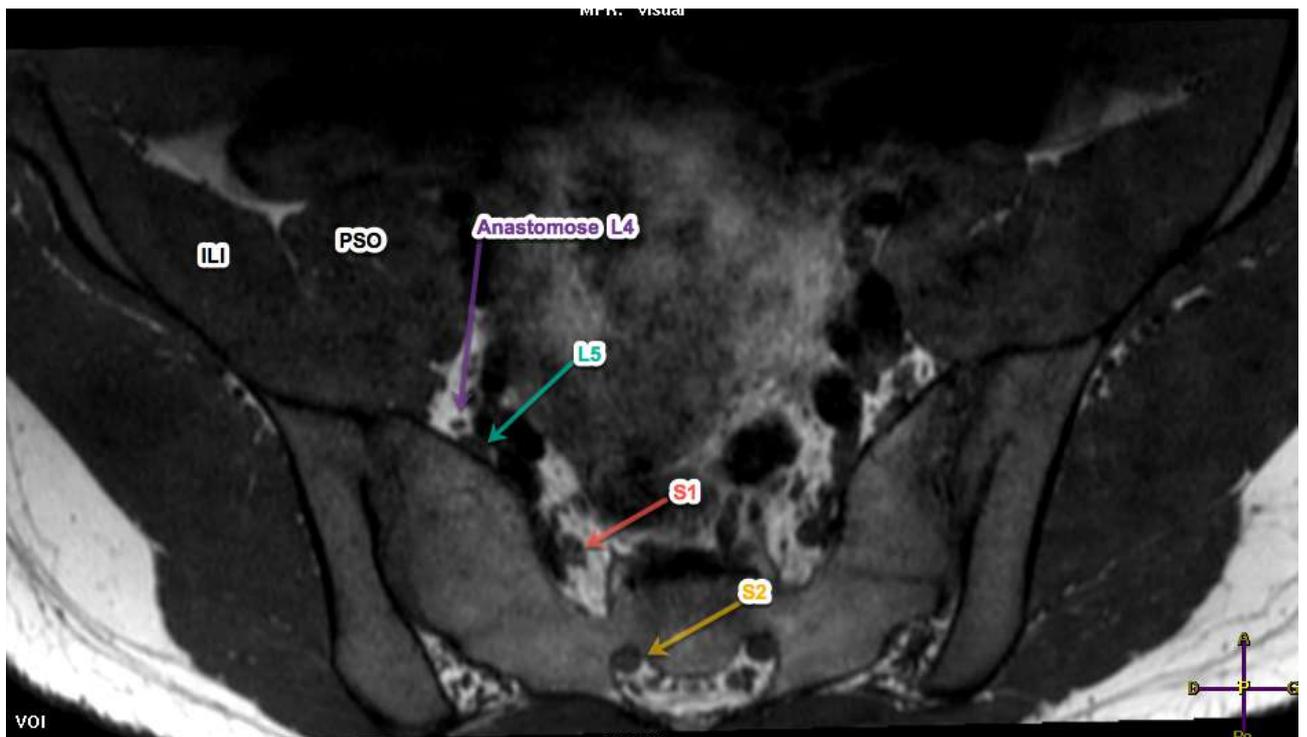


Figure 27 Coupe plus caudale que la figure 26. Visualisation de l'anastomose de L4 rejoignant L5 pour former le tronc lombosacral. IRM Séquence 3D Spin echo T1 axiale.

4) Le nerf glutéal supérieur

Nerf moteur.

Origine : tronc lombosacral (L4 et L5) et S1 (figure 30).

Trajet : accompagné de l'artère glutéale supérieure, il sort du pelvis sous le toit de la grande incisure ischiatique, au dessus du muscle piriforme dans un espace appelé foramen supra piriforme (figures 28, 29). Il se dirige en haut et latéralement dans un espace graisseux situé entre les muscles moyen et petit glutéaux (figure 31) pour ensuite se diviser en une branche supérieure et une branche inférieure.

Il innerve les muscles petit glutéal, moyen glutéal et tenseur du fascia lata.



Figure 28 Nerf glutéal supérieur (NGS) passant au dessus du muscle piriforme (PIR) dans l'espace supra piriforme. Nerf sciatique (NS), muscle grand glutéal (GG), muscle moyen glutéal (MG). IRM Séquence 3D Spin echo T1 coronale.

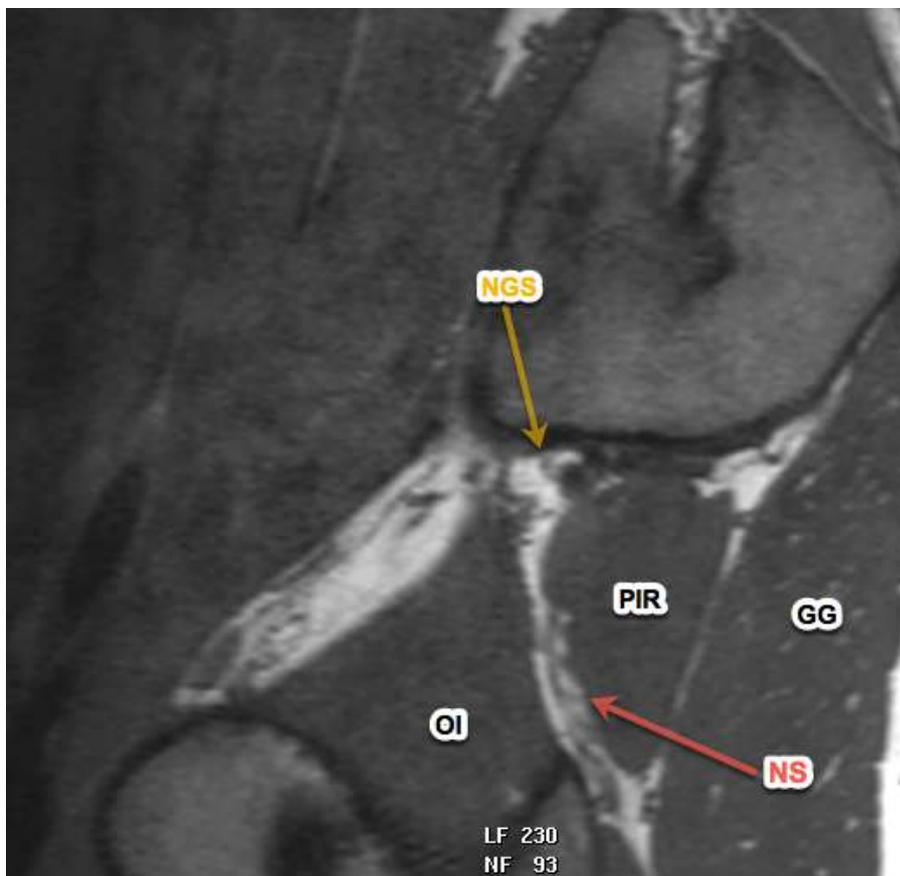


Figure 29 Nerf glutéal supérieur passant au dessus du muscle piriforme dans l'espace supra piriforme. Muscle obturateur interne (OI). IRM Séquence 3D Spin echo T1 sagittale.



Figure 30 *Nerf glutéal supérieur* Visualisation de son origine : tronc lombosacral (L4 et L5) et S1. IRM Séquence 3D Spin echo T1 axiale.

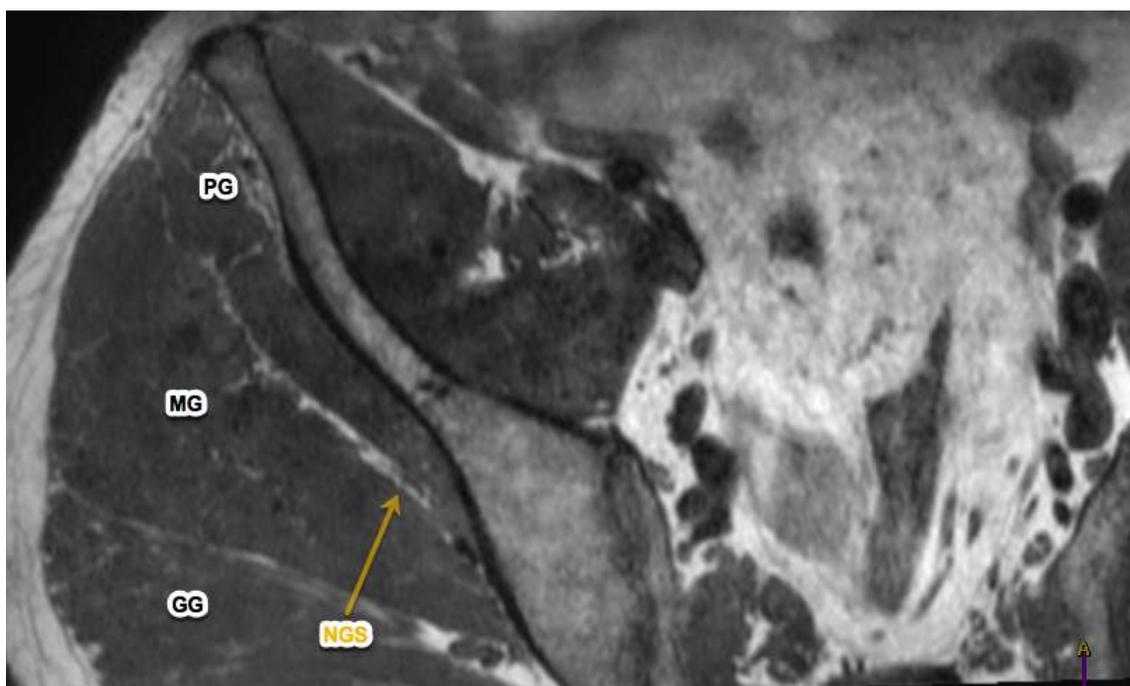


Figure 31 *Nerf glutéal supérieur* situé dans l'espace graisseux entre le muscle moyen glutéal et le muscle petit glutéal. IRM Séquence 3D Spin echo T1 axiale

5) Le nerf cutané postérieur de la cuisse

Nerf sensitif.

Origine : S1, **S2**, S3.

Trajet : Il sort du pelvis à la partie inférieure de la grande incisure ischiatique sous le muscle piriforme, dans un espace appelé foramen infra piriforme, en se plaçant sur le bord postéro-médial du nerf sciatique (*figure 32*). Il présente ensuite un trajet vertical accompagnant le nerf sciatique à la face profonde du muscle grand glutéal. Dès qu'il émerge du bord inférieur du muscle grand glutéal, il se place à la face postérieure de la cuisse. Il se divise ensuite en plusieurs branches :

- Une branche fémorale qui descend jusqu'à la partie supérieure du creux poplité en passant en arrière du chef long du muscle biceps fémoral, responsable de l'innervation cutanée de la face postérieure de la cuisse.
- A hauteur de la tubérosité ischiatique, un rameau cutané glutéal et les nerfs cluniaux inférieurs qui contournent le bord inférieur du muscle grand glutéal, responsables de l'innervation cutanée de la partie inférieure de la fesse et de la région péri anale.
- Un rameau cutané périnéal.



Figure 32 Nerf cutané postérieur de la cuisse (NCPC) placé sur le bord postéro-médial du nerf sciatique (NS). IRM Séquence 3D Spin echo T1 axiale.

6) Le nerf glutéal inférieur

Nerf moteur.

Origine : L5, S1, S2

Trajet : Il sort du pelvis par le foramen infra piriforme en se plaçant en arrière du nerf sciatique et latéralement au nerf cutané postérieur de la cuisse. A peine, sorti de l'incisure, il décrit une courbe à concavité supérieure pour aller innerver le muscle grand glutéal.

A noter que certains auteurs considèrent que le nerf glutéal inférieur et le nerf cutané postérieur de la cuisse possèdent un tronc commun appelé nerf petit sciatique.

7) Le nerf pudendal

Nerf mixte.

Origine : S2, **S3**, S4

Trajet (figure 33) : Il sort du pelvis par le foramen infra piriforme, en position plus médiale que les nerfs sciatique et cutané postérieur de la cuisse, pour pénétrer dans la région glutéale. A ce niveau il passe dans une pince ligamentaire formée par le ligament sacro-épineux en avant et en dedans et le ligament sacro-tubéral en dehors et en arrière. Son trajet dans la région glutéale est très court, il longe ensuite l'épine sciatique (*figure 34*) pour pénétrer dans la fosse ischio-rectale (région périnéale) via la petite incisure ischiatique. Après s'être engagé dans le périnée, 15mm plus loin il chemine dans un canal fibreux formé par un dédoublement de l'aponévrose du muscle obturateur interne, appelé canal pudendal ou canal d'Alcock, sur environ 2cm. Dans ce trajet il donne des collatérales qui assurent la fonction sensitivo-motrice du périnée.

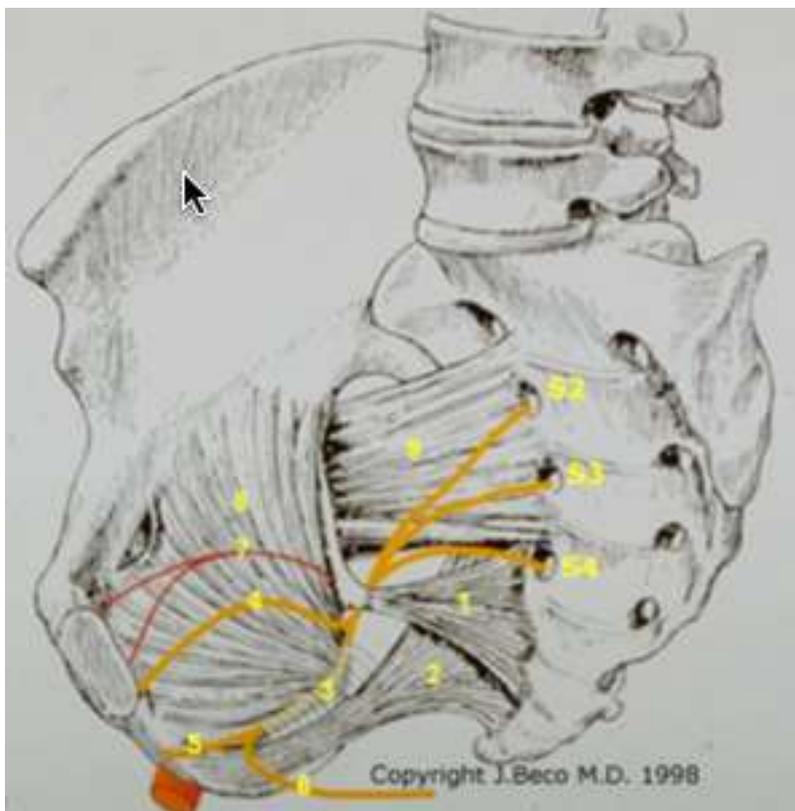


Figure 33 Schéma du trajet du Nerf pudendal, d'après Beco.

- 1 Ligament sacro-épineux
- 2 Ligament sacro-tubéral
- 3 Canal d'Alcock

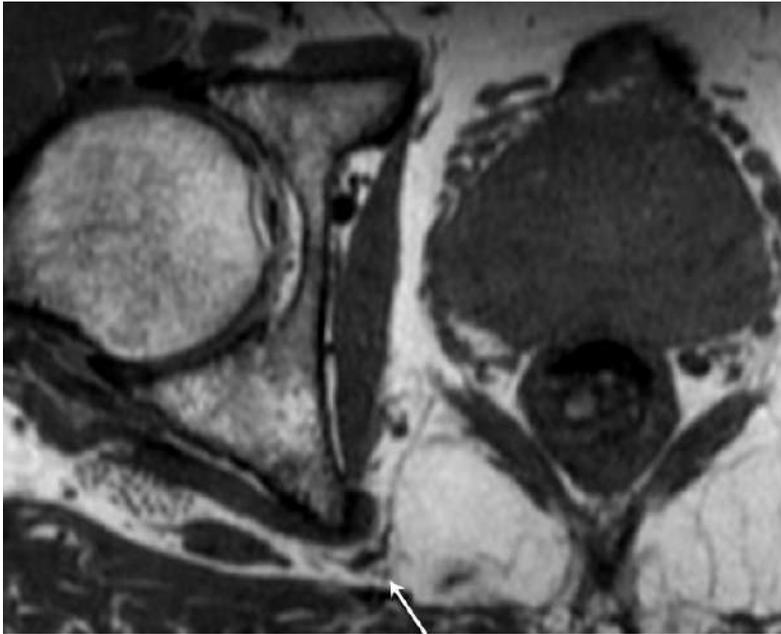


Figure 34 Nerf pudendal (flèche blanche) en arrière de l'épine sciatique. IRM Séquence 3D Spin echo T1 axiale.

8) Le nerf sciatique

Nerf mixte, branche terminale du plexus sacral.

Plus volumineux nerf du corps humain (en moyenne 1,5cm de large).

Origine : L4, L5, S1, S2, S3.

Trajet : Il quitte le pelvis par le foramen infra piriforme en avant du nerf cutané postérieur de la cuisse et du nerf glutéal inférieur, en passant classiquement sous le muscle piriforme (figures 35, 36), mais il peut aussi passer à travers ou au dessus de ce muscle. Dans la région glutéale, il a un trajet arciforme, entouré par le muscle carré fémoral en avant, le muscle grand glutéal en arrière, la tubérosité ischiatique en dedans et le grand trochanter en dehors (figure 37). Il présente ensuite un trajet vertical dans la cuisse à la face postérieure du grand adducteur. Il se divise au tiers distal de la cuisse en ses deux branches terminales : le nerf tibial et le nerf fibulaire commun. Il innerve les muscles de la loge postérieure de la cuisse. Par ses branches terminales, il assure l'innervation des muscles de la jambe et du pied. Il assure aussi l'innervation sensitive de la face postéro latérale de la jambe et de l'ensemble du pied.

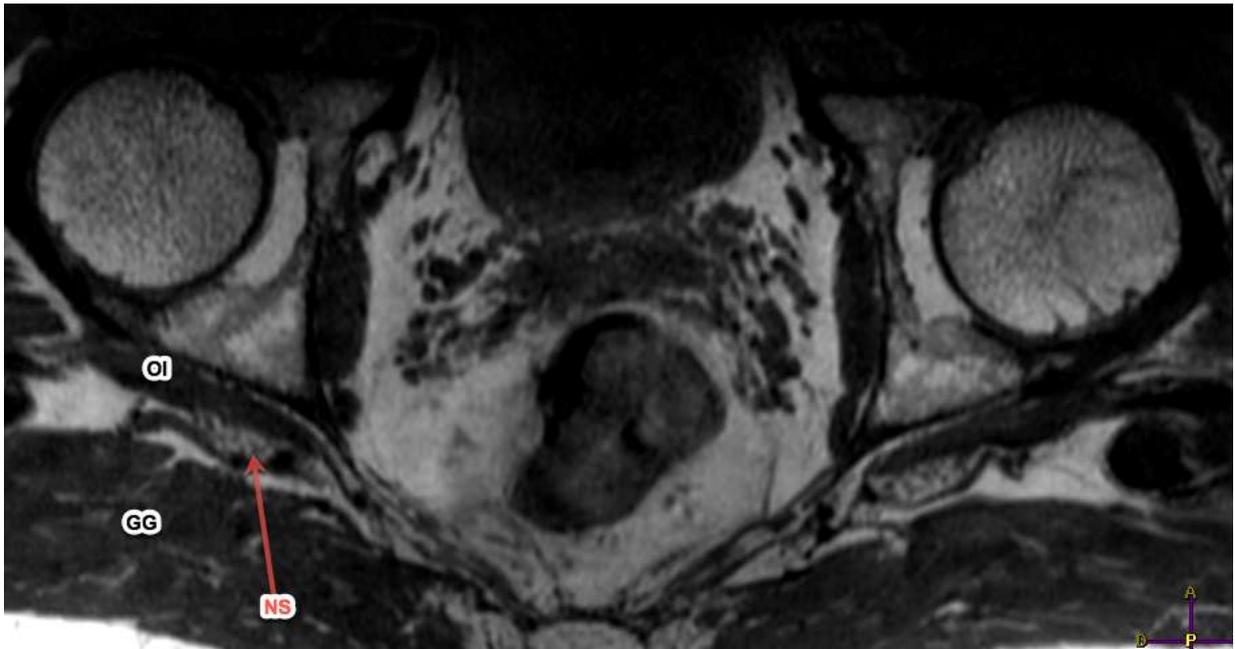


Figure 35 *Nerf sciatique* à la face postérieure du muscle obturateur interne. IRM Séquence 3D T1 Spin echo axiale.



Figure 36 *Nerf sciatique* (flèche rouge) sortant du bassin par l'espace infra piriforme. IRM Séquence 3D Spin echo T1 sagittale.

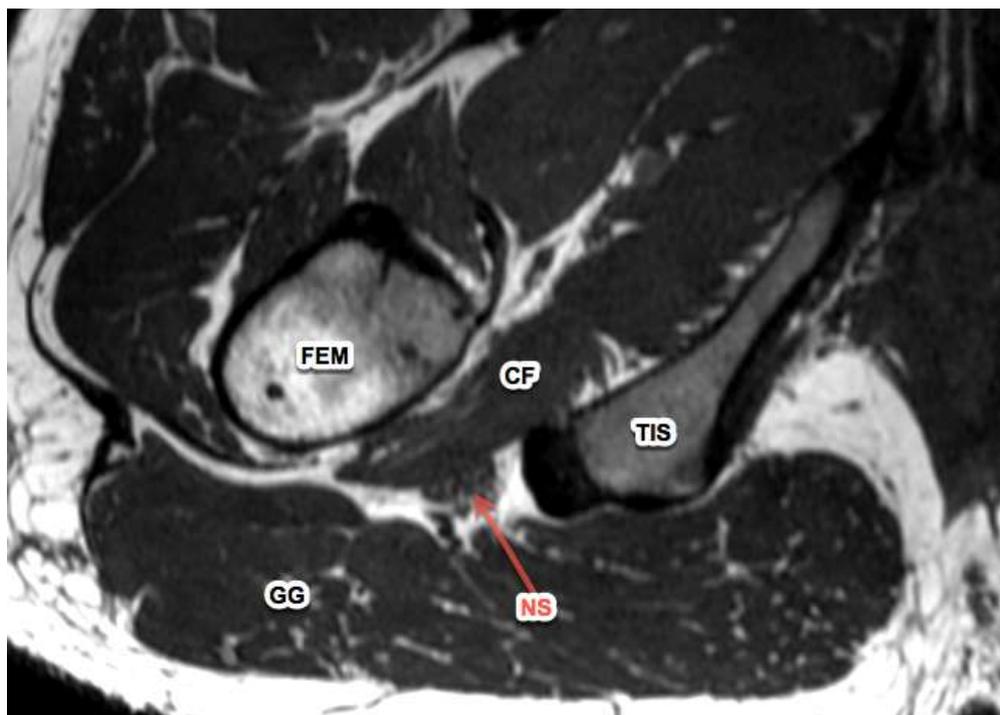


Figure 37 *Nerf sciatique en arrière du muscle carré fémoral (CF), en avant du muscle grand glutéal (GG), en dehors de la tubérosité ischiatique (TIS) et en dedans du fémur (FEM). IRM Séquence 3D Spin echo T1 axiale.*

2. NEUROGRAPHIE IRM DU PLEXUS LOMBOSACRAL

A. Définition

MR neurography : terme employé la première fois par Howe et Fille(10), désigne l'imagerie par IRM des nerfs périphériques et notamment l'optimisation technique pour l'analyse de leur aspect fasciculaire interne, de l'altération de leur signal et de leur calibre.(11)

B. Structure du nerf.

Un nerf périphérique est constitué de multiples fascicules séparés par un tissu conjonctif appelé épinèvre. Le fascicule, délimité lui par le périnèvre, est l'unité fonctionnelle du nerf et contient de multiples fibres nerveuses, qui sont séparées par l'endonèvre (figure 38). L'épinèvre contient un pourcentage variable de tissu adipeux inter fasciculaire selon les nerfs. A titre d'exemple, le nerf sciatique contient beaucoup de graisse inter fasciculaire alors que les nerfs du membre supérieure en contiennent très peu.(12)

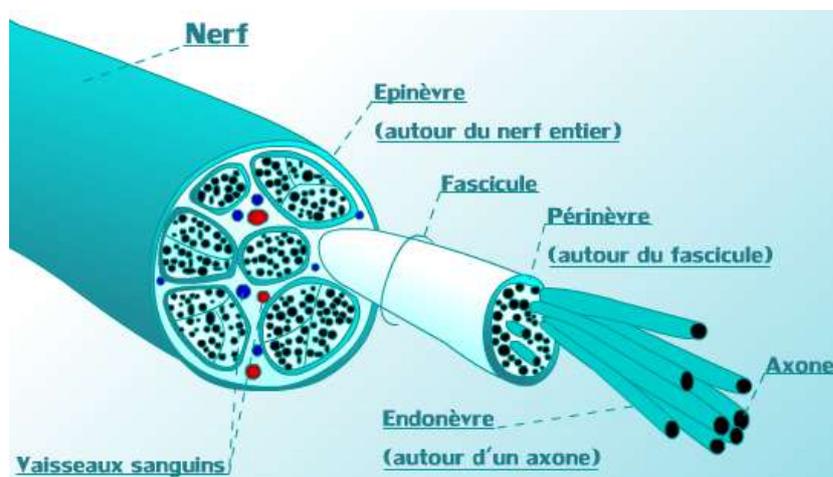


Figure 38 Schéma d'un nerf périphérique, d'après Dailly

C. Aspect du nerf en IRM (tableaux 1 et 2)

Les nerfs ont globalement, un signal, une morphologie et une taille symétriques par rapport au coté controlatéral. Leur taille est semblable à l'artère les accompagnant.

L'aspect fasciculaire interne du nerf peut être visualisé en coupe axiale en haute résolution, pour les nerfs de gros calibre, et parfois pour les nerfs de petit calibre lorsqu'ils sont élargis, pathologiques.(12)

Les nerfs doivent aussi être continus et ne pas avoir de changement de direction abrupte.(13)

Sur les séquences T1 sans saturation du signal de la graisse, les nerfs apparaissent globalement en iso signal par rapport aux muscles. On peut les différencier des petites structures vasculaires adjacentes en franc hypo signal, mais ce signe est souvent pris à défaut pour les nerfs de très petite taille. En réalité ce sont les fascicules qui sont en isosignal. Les enveloppes sont en hyposignal, mais l'épinevre sera en hypersignal pour les nerfs de gros calibre en raison de l'abondance de la graisse épineurale.

Sur les séquences STIR ou T2/DP avec saturation de la graisse, les nerfs ou en réalité les fascicules, apparaissent légèrement hyper intenses par rapport aux muscles. Ceci est lié à la présence du liquide endoneural.

Sur les séquences avec injection de gadolinium, il n'y a pas de prise de contraste des nerfs en raison de la présence d'une barrière hémato nerveuse (BHN) empêchant le passage du gadolinium. A noter qu'il y a une prise de contraste physiologique des ganglions spinaux qui sont en dehors de la barrière hémato-nerveuse.(14)

CARACTERISTIQUES D'UN NERF <u>NORMAL</u> EN MR NEUROGRAPHIE (13)		
Signal	<i>T1</i>	Isosignal au muscle
	<i>T2</i>	Isosignal au muscle
	<i>T2 FS/STIR</i>	Discret hypersignal par rapport au muscle
	<i>Gadolinium</i>	Pas de rehaussement (BHN) excepté le ganglion spinal
Taille	Semblable au calibre de l'artère accompagnant le nerf	
Trajet	Pas de changement de direction abrupte	
Aspect fasciculaire	Présent pour les nerfs de gros calibre.	
Aspect symétrique	Présent	

Tableau 1

CARACTERISTIQUES D'UN NERF <u>PATHOLOGIQUE</u> EN MR NEUROGRAPHIE (13)	
Signal	Hypersignal T2 (s'aider de la veine adjacente)
Taille	Elargissement du calibre du nerf.
Trajet	Modification du trajet habituel, angulation anormale
Aspect fasciculaire	Absent
Graisse péri-neurale	infiltration
Aspect symétrique	Disparition sauf dans les atteintes bilatérales

Tableau 2

D. Champ magnétique

La puissance de l'aimant est importante en terme de qualité d'image et de temps d'acquisition. C'est l'avènement de l'imagerie à 3 Tesla qui a permis le développement de la MR neurography et notamment son utilisation en pratique quotidienne. En effet, l'utilisation de l'imagerie à 3T apporte un rapport signal sur bruit et un rapport contraste sur bruit nettement supérieurs par rapport à l'imagerie 1,5 Tesla, améliorant ainsi la visualisation des nerfs périphériques(15). L'imagerie à 3T, avec l'imagerie parallèle, permettent aussi la réalisation de séquences 3D isotropiques avec des temps d'acquisition acceptables, très intéressantes pour l'imagerie du plexus lombosacral, qui nécessite des champs d'acquisition larges avec un rapport signal sur bruit élevé pour l'analyse de petites structures nerveuses.

A noter aussi que l'artefact de déplacement chimique entre la graisse et l'eau augmente avec la puissance du champ magnétique permettant une meilleure délimitation entre la graisse péri fasciculaire et un éventuel œdème périneural pathologique.(16)

Il est donc fortement recommandé dans la littérature d'utiliser une IRM 3Tesla pour l'étude des nerfs périphériques et a fortiori du plexus lombosacral.(17)(15)

E. Séquences non « nerf-spécifique »

1) Séquence T1 sans suppression de graisse

Cette séquence est utile pour la description anatomique des nerfs périphériques et des structures adjacentes. Des coupes fines en axial sont nécessaires pour visualiser l'aspect fasciculaire et les détails anatomiques. Le plan coronal est intéressant pour visualiser le nerf dans son grand axe et permet de comparer la morphologie du nerf par rapport au côté controlatéral (figure 39 A).

Une séquence 3D TSE T1 peut être utilisée à la place des séquences 2D axiale et coronale +/- sagittale. Cette séquence permet aussi de détecter la présence d'une infiltration graisseuse musculaire, conséquence d'une dénervation ancienne.

2) Séquence T2 avec suppression de graisse

Cette séquence est utilisée pour détecter les anomalies de signal pathologiques des nerfs(18). Une suppression du signal de la graisse est nécessaire pour discerner l'hypersignal pathologique du nerf, de l'hypersignal physiologique de la graisse intra et péri-nerveuse (figure 39 B).

Par ailleurs, la plupart des lésions responsables de compression nerveuse sont mieux visualisées en pondération T2 FS : Kyste paralabral, kyste mucoïde, bursite, tumeur des gaines nerveuses..(11)

Cette séquence permet aussi de détecter une infiltration pseudo-œdémateuse musculaire, conséquence d'une dénervation aiguë.

La suppression du signal de la graisse majeure néanmoins l'hyper signal des petites structures vasculaires accompagnant les nerfs, source de faux positifs.(19)

La séquence T2 pour une neurographie doit avoir 3 spécificités(11)(18)(19) :

-un TE long de 90 à 130ms

-une saturation du signal de la graisse

-appliquer une onde de radiofréquence pour supprimer le signal des petits vaisseaux adjacents.

3) Séquence T1 FS après injection de gadolinium

Cette séquence (figure 39 C) est utile pour voir une prise de contraste anormale en rapport avec une rupture de la BHE du nerf. Elle est indispensable en cas de pathologie infectieuse, néoplasique ou de contexte post opératoire.



Figure 39 Séquences 2D

a) Séquence T1 plan coronal

b) Séquence T2 Dixon water plan axial

c) Séquence T1 Dixon water après injection de gadolinium.

4) Séquences 3D

La plupart des IRM actuelles disposent des séquences 3D Spin echo : SPACE (Siemens), CUBE (GE) ou VISTA (Philips). Toutes les pondérations (T1, T2, DP) sont disponibles sur ces séquences. Leur principe est basé sur une modulation de l'angle de bascule(20).

Cette séquence 3D ne doit pas remplacer les séquences 2D conventionnelles (T1 et T2) qui fournissent un meilleur SNR et un meilleur contraste, permettant une visualisation plus nette de l'aspect fasciculaire des nerfs.

Les séquences 3D sont essentielles pour l'analyse des différents nerfs du plexus lombosacral. Les nerfs ont des trajets différents, souvent obliques, mieux représentés en reconstruction multi planaire (MPR), en reconstruction curviligne (CPR) et en projections maximales d'intensité (MIP). Cela évite de devoir réaliser des plans spécifiques pour un nerf en particulier(21).

L'artefact d'angle magique et de volume partiel sont diminués sur les séquences 3D.

Pour les raisons citées plus haut pour la séquence T2 axiale, la séquence 3D indispensable pour l'étude du plexus lombosacral est une séquence 3D en pondération T2 avec saturation du signal de la graisse soit obtenue par « spectral adiabatic inversion recovery » (SPAIR) ou « short tau inversion recovery » (STIR). La séquence STIR est préférée pour l'étude des plexus en raison d'une suppression du signal de la graisse supérieure, plus homogène, tandis que la séquence SPAIR est préférée pour l'étude des extrémités en raison d'une meilleure résolution spatiale avec une nécessité de suppression de graisse moins grande.(22)(11)

La séquence 3D STIR offre une couverture anatomique complète du plexus lombosacral et la capacité de naviguer à travers le volume permet d'analyser la modification du trajet ou une altération de la structure du nerf. Elle permet une évaluation précise de la distorsion, la

compression et l'interruption des fibres nerveuses post ganglionnaires grâce à la capacité d'effectuer du MIP et du MPR (23).

Les reconstructions MIP réalisées à partir de cette séquence améliore la visualisation d'un éventuel hyper signal pathologique d'un nerf par rapport au nerf controlatéral sain(13).

Cette séquence apporte donc une plus value par rapport aux séquences 2D pour les pathologies intrinsèques du plexus lombosacral telles que les neuropathies inflammatoires et héréditaires notamment.

Une séquence 3D T2 TSE sans suppression de la graisse pour l'évaluation du rachis lombaire peut être ajoutée au protocole car une pathologie rachidienne (hernie discale notamment) peut être à l'origine de la symptomatologie. Mais dans la plupart des cas, les patients qui bénéficie d'une imagerie dédiée du plexus lombal ont déjà réalisé antérieurement une, voir plusieurs, imageries du rachis lombaire.(24)

F. Séquences « nerf-spécifique »

Elles ont pour point commun une optimisation technique ayant pour but de supprimer le signal des petites structures vasculaires accompagnant les nerfs. Certaines sont constructeur-dépendantes. Ces séquences ont fait l'objet de peu d'études et ne se substituent pas pour l'instant à la séquence classique 3D TSE STIR.

1) Séquence de diffusion et tractographie.

Le principal intérêt d'utiliser l'imagerie de diffusion dans la MR neurography est de supprimer le signal des petites structures vasculaires accompagnant les nerfs.

L'imagerie de diffusion est basée sur les mouvements browniens des molécules d'eau.

La diffusion des molécules d'eau peut être :

- libre dans toutes les directions de l'espace (typiquement comme dans le liquide céphalo rachidien)

- restreinte dans toutes les directions de l'espace, on parle alors d'isotropie (typiquement comme dans l'œdème cytotoxique)

- restreinte dans certaines directions, on parle alors d'anisotropie (typiquement comme dans les structures nerveuses).(25)

Un gradient de diffusion est appliqué de part et d'autre de l'impulsion de 180° (figure 40).

Les protons immobiles seront rephasés par le deuxième gradient, alors que les protons mobiles resteront déphasés.

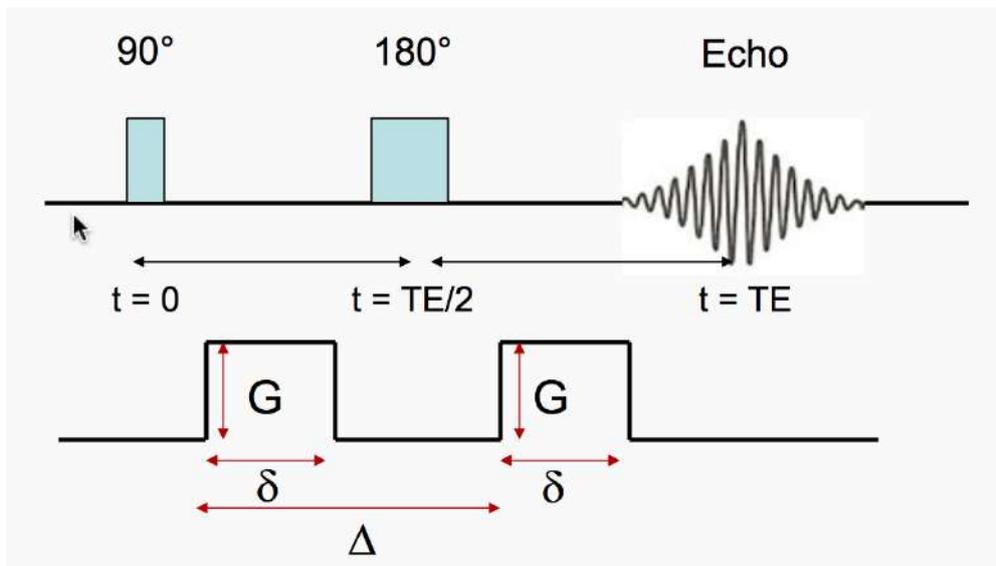


Figure 40 Principe de la séquence de diffusion. Deux gradients de diffusion (amplitude, durée et intervalle) sont appliqués de part et d'autre de l'impulsion à 180°. Source internet.

Les nerfs qui présentent une restriction de diffusion liée à l'anisotropie seront alors en hypersignal tandis que les structures adjacentes y compris les vaisseaux verront leur signal supprimé, excepté la graisse ce qui implique d'ajouter une séquence STIR.(20)(26)

La séquence de diffusion est préparée en Spin echo, pondérée en T2, avec un remplissage de type Echo-planar du plan de Fourier.

Pour le plexus la valeur de b doit être aux alentours de 600 à 800 s/mm² pour garder un rapport signal sur bruit satisfaisant(22).

Le principal défaut de cette séquence reste quand même sa faible résolution spatiale. Elle est préférée pour la MR neurography des extrémités, plus que pour l'étude des plexus.(17)

L'imagerie en tenseur de diffusion (DTI) se base sur le même principe mais en appliquant un nombre plus élevé de direction (au moins 6), ce qui permet d'analyser la direction des mouvements des molécules d'eau. Deux principaux paramètres sont calculés dans chaque voxel(27) :

- La diffusivité moyenne, utilisée dans un milieu anisotrope, qui est un équivalent du coefficient ADC utilisé dans un milieu isotrope.
- La fraction d'anisotropie (FA) qui quantifie la direction préférentielle des molécules d'eau. Schématiquement, une FA égale à 1 signifie un tissu avec une direction linéaire pure, à contrario, une FA égale à 0 correspond à une diffusion libre comme dans le liquide céphalo rachidien.

Des cartes représentant la FA de chaque voxel par un code couleur, peuvent ensuite être réalisées.

La tractographie est une application du DTI. Elle consiste en une modélisation 3D de la direction préférentielle des molécules d'eau. Un logiciel va interconnecter les voxels ayant des vecteurs principaux et des FA similaires. Le suivi des fibres nécessite de régler plusieurs paramètres tels que la valeur seuil de FA et le seuil d'angulation de la fibre.

Une fois l'algorithme de tractographie lancé sur la cartographie FA, il est ainsi possible d'obtenir une modélisation 3D de la structure étudiée (figure 41). Le codage des couleurs est le même que celui utilisé dans les cartes FA, et la fusion anatomique avec les séquences pondérées en T1 ou en T2 permet d'estimer la pertinence des reconstructions.(25)

Chez des sujets sains, la DTI et la tractographie sont réalisables sur une IRM 3 Tesla pour l'étude des nerfs du plexus sacral(28). Une étude a défini les valeurs « normales » de FA et de diffusivité moyenne pour le nerf sciatique et ses racines(29) . Mais ces techniques n'ont pas encore vraiment leur place en pratique quotidienne.(25)

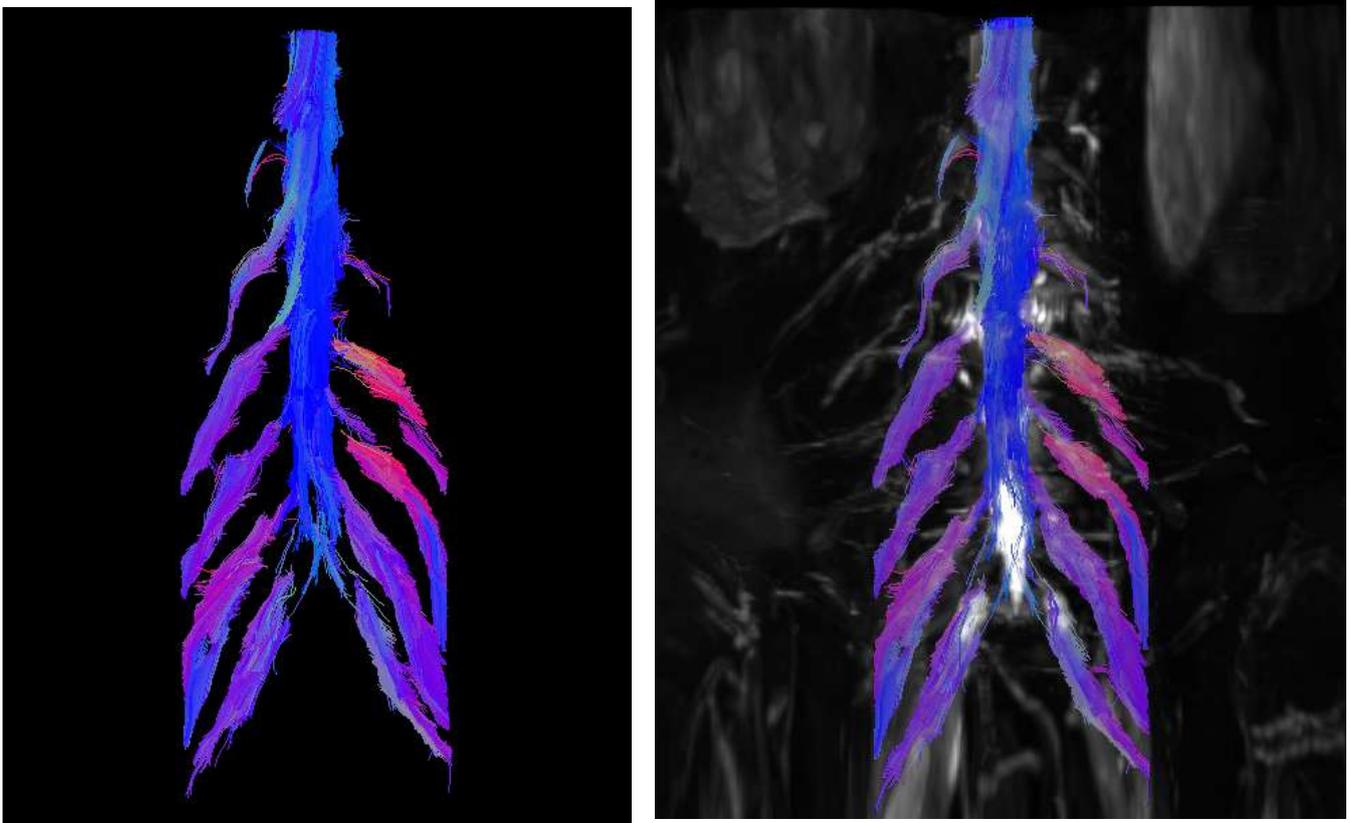


Figure 41 Tractographie du plexus lombosacral.

2) Séquence 3D TSE STIR Gadolinium

Le principe est de diminuer le temps de relaxation T1 du sang pour qu'il soit le plus proche possible de celui de la graisse, grâce à l'injection intraveineuse de gadolinium. La séquence STIR supprime le signal des structures ayant un T1 égale ou plus court à celui de la graisse(30). Ainsi les structures vasculaires verront leur signal annulé au même titre

que celui de la graisse. Une étude a comparé la séquence 3D TSE STIR sans et avec injection de gadolinium, sur le plexus brachial(31). L'acquisition était lancée directement après la fin du bolus de gadolinium. En diminuant le signal des structures vasculaires adjacentes, cette séquence serait meilleure pour évaluer l'anatomie et la pathologie du plexus brachial. Ceci mérite d'être appuyé par d'autres études et notamment au plexus lombosacral.

3) Séquence 3D SHINKEI

La Séquence 3D SHINKEI (nerve-SHeat signal increased with INKed rest tissue RARE imaging) est une nouvelle séquence qui utilise une suppression du signal de la graisse type SPAIR et une impulsion iMSDE (improved Motion Sensitized Driven Equilibrium), utilisant des impulsions dans des directions opposées (figures 42 et 43), permettant de supprimer le signal des structures vasculaire gênant l'interprétation du signal des petits nerfs. C'est une séquence 3D isotropique en Turbo Spin Echo (tableau 3).

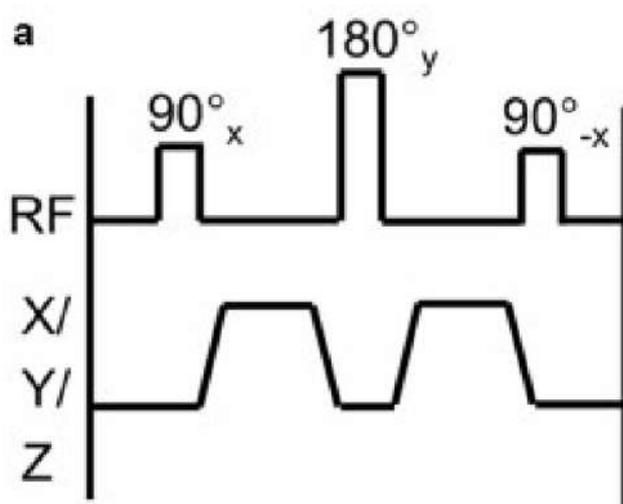


Figure 42 tirée de Madhuranthakam et al(20). Schéma du module MSDE. Principe similaire à la séquence de diffusion mais avec des gradients beaucoup moins intenses.

Paramètre séquence SHINKEI(32)

Temps de répétition	2000ms
Temps d'écho	80ms
Train d'écho	54
Voxel	1,5mm
Matrice	348 X 347
Temps d'acquisition	8 minutes

Tableau 3

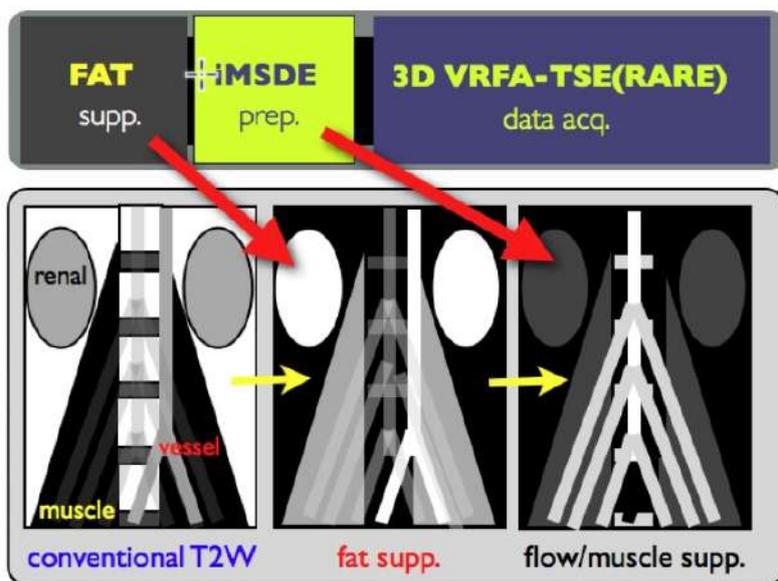


Figure 43 tirée de Yoneyama et al. Concept de la séquence SHINKEI

Une étude comparant cette séquence à la classique 3D STIR sur une série de plexus lombaire, a démontré que la séquence SHINKEI serait supérieure en plusieurs points :

- Saturation du signal de la graisse supérieure et plus homogène
- Pas ou peu d'artefacts de pulsation ou de péristaltisme digestif.

-La suppression du signal des vaisseaux apporte un meilleur SNR, CNR et « nerve-to-fat » ratio pour la visualisation des petits nerfs.

Cette séquence serait surtout intéressante pour la visualisation des petits nerfs du plexus lombal.

A titre d'exemple le nerf ilio-hypogastrique n'était visible que dans seulement 6% des cas sur la séquence 3D STIR, contre 41% des cas sur la séquence SHINKEI (figure 44) (32).

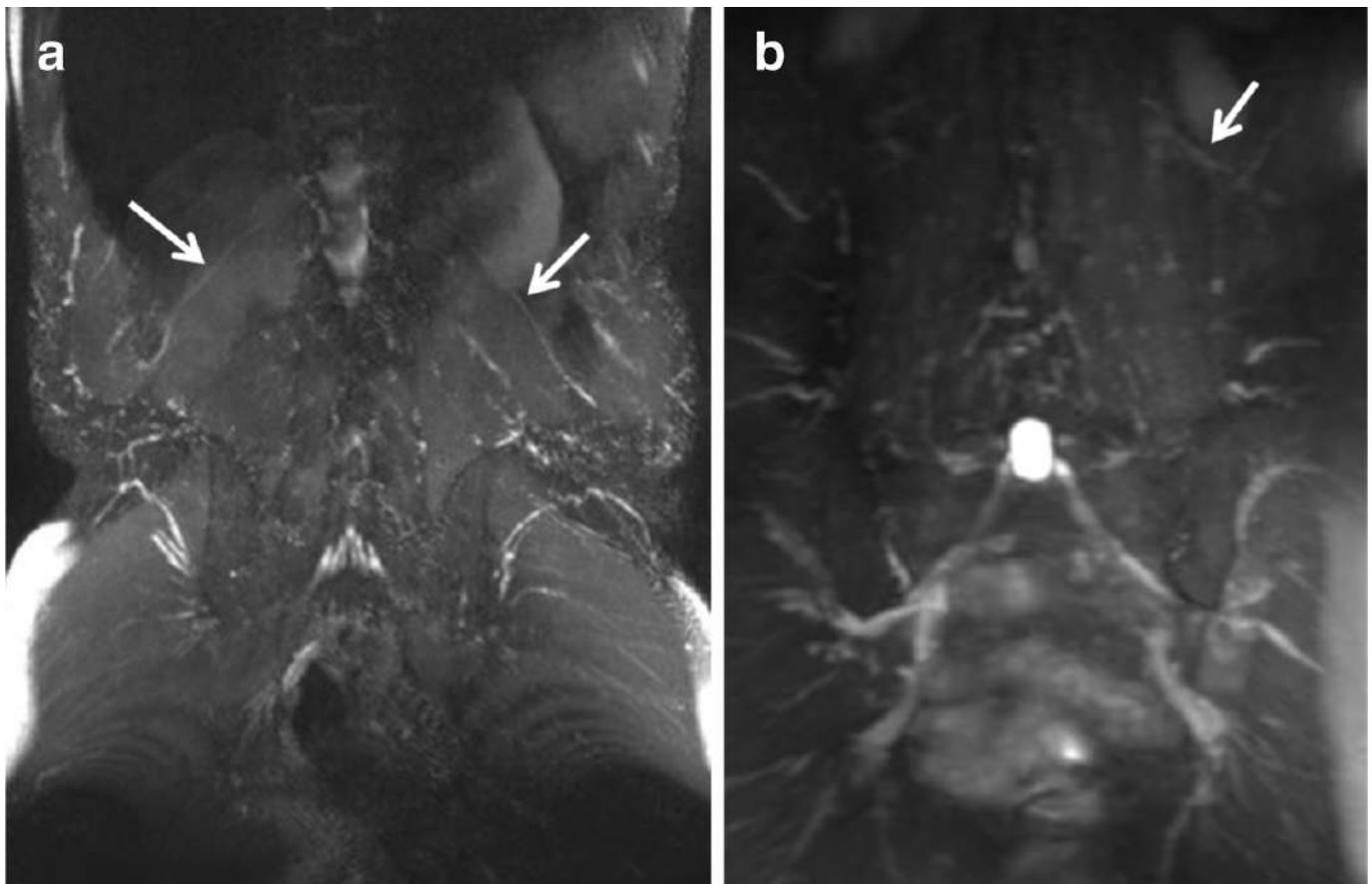


Figure 44 tirée de Kasper et al(32), Différence de visualisation du nerf ilio-hypogastrique sur la séquence SHINKEI en **a**, sur la séquence 3D STIR en **b**.

4) Séquence 3D DW-PSIF (ou SSFP)

Elle appartient au groupe des séquences écho de gradient à l'état d'équilibre, à laquelle est ajoutée une diffusion à b faible et une suppression sélective de la graisse (figure 45) (33).

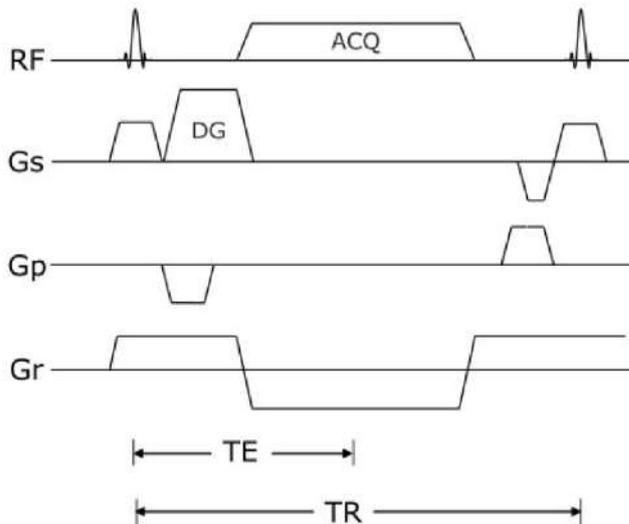


Figure 45 Schéma de la séquence 3D DW SSFP, d'après Zhang(33)

En raison de l'état d'équilibre et de la faible diffusion, il y a suppression adéquate du signal vasculaire, ce qui en fait une séquence « nerf spécifique » (figures 46 et 47).

Une valeur de b faible ($80-90 \text{ s mm}^{-2} \text{ s}^{-1}$) apporte un bon compromis entre le rapport signal sur bruit et le contraste nerf périphérique/structures adjacentes.(34).

C'est aussi une séquence 3D isotropique (tableau 4) permettant des reconstructions MPR et curvilignes.

Il faut noter que cette séquence est sensible aux mouvements et aux artefacts de susceptibilité, et qu'elle devient nettement sous optimale sur des champs larges (supérieurs à 15cm). Une mauvaise suppression de graisse peut gâcher complètement cette séquence.(22)

Paramètre de la Séquence 3D DW SSFP pour l'étude du plexus lombo-sacré.(33)

<i>TR</i>	14,16ms
<i>TE</i>	4,61ms
<i>Angle de bascule</i>	30°
<i>Champ de vue</i>	360mm
<i>Matrice</i>	512 x 512
<i>Voxel</i>	0,8 x 0,8 x 0,8 mm
<i>Valeur de b</i>	90 s/mm ²
<i>Temps d'acquisition</i>	10 minutes 49 secondes.

Tableau 4



Figure 46 tirée de Chhabra et al(34). Séquence 3D DW PSIF, Nerf sciatique. Notez la faible "pollution" vasculaire.

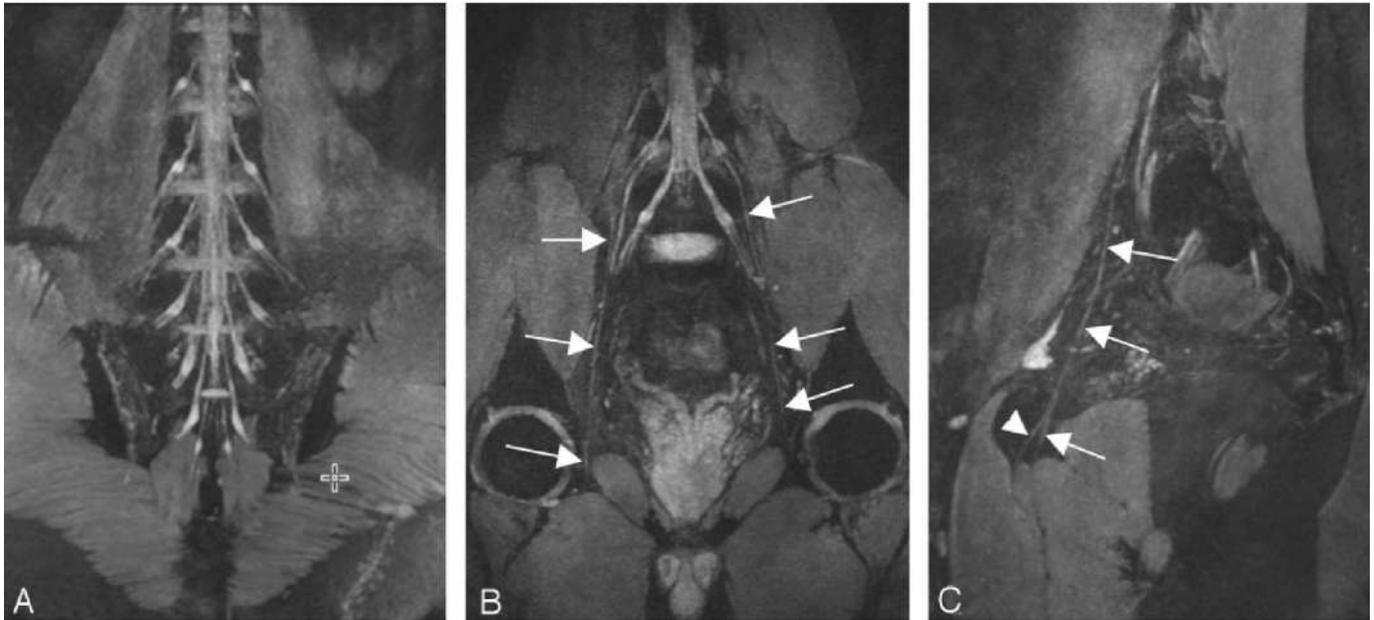


Figure 47 tirée de Zhang et al, Séquence 3D DW SSFP. Ganglions spinaux bien visualisés en **A**. Nerfs obturateurs dans le plan coronal **B** et sagittal **C**.

5) Les pièges

L'artefact d'angle magique, bien connu pour l'imagerie du tendon et plus particulièrement au niveau de l'épaule, intervient aussi dans l'imagerie du nerf périphérique, responsable d'un hyperignal T2 non pathologique, responsable de faux positifs, maximal quand le nerf présente un angle de 55 degré avec l'axe de B0 (figure 48).

Les sites classiques de cet artefact sont :

- Incisure ischiatique pour le nerf sciatique.
- Iliopsoas Notch, entre le tendon iliopsoas et le labrum antérieur, pour le nerf fémoral.
- Le nerf plantaire médial au niveau de la cheville.
- Le nerf ulnaire a son entrée dans le canal de Guyon.
- Le nerf médian lors de sa traversée de l'arcade du rond pronateur.

Les nerfs du plexus lombosacral peuvent aussi apparaître hyperintenses en raison de leur trajet oblique mais d'aspect symétrique.(17)

Cet artefact, contrairement aux tendons, persiste avec des TE relativement longs (supérieurs à 66ms), et des TE encore plus longs doivent être utilisés pour supprimer cet artefact.(35)

Cependant une étude a démontré que cet artefact était en réalité rarement responsable de faux positifs.(36)

Un autre piège classique, réduit par l'avènement des séquences « nerf spécifique », est celui lié à l'hypersignal des petites structures vasculaires accompagnant les nerfs périphériques, responsable de faux positifs.

Une autre source d'erreur est la mauvaise suppression de graisse dans les champs de vue larges (pelvis et plexus lombal) plus ou moins associée aux artefacts liés aux matériels prothétiques fréquents dans ces régions (prothèse totale de hanche, matériel d'arthrodèse du rachis lombaire). Dans ce dernier cas de figure, une IRM 1,5 tesla sera préférée.(11)



Figure 48 tirée de Chappell et al(35). Séquence STIR. Nerf ulnaire présentant un hypersignal lors de son changement de direction (environ 55°), pouvant simuler une pathologie

DEUXIEME PARTIE :
ETUDE CLINIQUE

1. INTRODUCTION

The lumbosacral plexus is defined as the complex network of the anterior divisions of the nerve roots L1 to S4 forming the terminal and collateral nerve branches innervating the pelvis and the lower limbs.

The *lumbar plexus* originates from the anterior branches of L1 to L4 roots, with or without contribution from T12 root, and is located in front of the transverse processes from L2 to L5, in the thickness of the psoas major muscle. Certain division branches including iliohypogastric, ilioinguinal, femoral and lateral cutaneous femoral nerves emerge from the lateral border of the psoas muscle. The obturator nerve emerges from the medial border, while the genitofemoral nerve passes through the muscle.

The *sacral plexus* originates from the anterior branches of roots L5 to S4 and is located on the anterior aspect of piriformis muscle. It gives sciatic, superior gluteal, posterior cutaneous femoral, and pudendal nerves. The lumbosacral trunk connects the lumbar plexus with the sacral plexus.

The lumbosacral plexus is the site of a wide range of pathologies, such as inflammatory (*e.g., hereditary neuropathies and chronic inflammatory demyelinating polyneuropathy*), iatrogenic (*e.g., hematoma and radiation-induced plexopathies*), metabolic (*e.g., diabetic neuropathy*), tumoral, traumatic, infectious or idiopathic pathologies (16). The nerve branches of the lumbosacral plexus are also the site of entrapment syndromes (37). The wide range of pathologies and the complexity of the clinical examination mean that MRI of the lumbosacral plexus has become a major tool providing diagnostic help and anatomical information, significantly impacting the management of the disease (37)(18)(38). MR neurography refers

to the MR imaging of the peripheral nerves (39) and especially the technical optimization necessary to improve the analysis of their course, signal, caliber and fascicular pattern (18). MR neurography of the lumbosacral plexus remains a challenge in MRI due to the need to produce isotropic 3D sequences with a high signal-to-noise ratio for the analysis of small nerve structures in a large field of view, with acceptable scan time for daily practice. Moreover, the interpretation of the lumbosacral plexus MRI, regardless of the semiological difficulty and the understanding of the pathologies, is difficult for radiologists because of its complex and variable anatomy (11).

Despite the abundant literature on the anatomy (cadaveric and surgical studies) , on the pathologies of the lumbosacral plexus and on the MR technical aspects (40) whose main purpose is the analysis of the signal of the nerves (3D STIR, 3D PSIF, DWI ...) useful for the detection of abnormalities (41)(32)(34), few studies are interested in the performance of morphological MR sequence. The aim of this study was to assess the precise anatomy and anatomical variations of lumbosacral plexus using a 3D isotropic TSE T1-weighted MR sequence.

2. MATERIALS AND METHODS

A. Study population

Our study was conducted in accordance with our local review board recommendations and with Declaration of Helsinki. We initially reviewed 55 MRI examination of the pelvis including 3D Turbo Spin echo isotropic T1-weighted sequence from the database of our musculoskeletal imaging department, performed between January 2016 and December 2016. The subjects were patients referred by specialized clinicians (rheumatologists and orthopedists) for various pelvic pathologies such as hip abarticular pathologies and sport injuries.

The exclusion criteria were an unadapted FOV for plexus coverage, patients referred for nerve exploration or with pathological nerve findings, metal-related artifacts of the orthopedic hardware, and motion or technical artifacts.

B. MRI protocol

All patients were examined on the same 3 Tesla MRI scanner (Ingenia, Philips Healthcare, Netherlands). We used 3D Turbo Spin Echo isotropic T1-weighted sequence (**table 1**) with field of view including the bilateral lumbosacral plexus: TR/TE = 350/20.5ms, FOV = 318x368x168mm, acquisition matrix size = 528x525x350, reconstructed voxel resolution = 0.43x0.43x0.48mm.

Dimension	3D
TR (ms)	350
TE (ms)	20.5
Field of view (mm)	318 x 368 x168
Acquisition matrix size	528 x 525 x 350
Number of signal average	1
Slice thickness (mm)	0.96
Spacing between slices (mm)	0.48
Echo train length	27
Acquisition time	5 min 34 sec
Acquired voxel resolution (mm)	0.6 x 0.7 x 0.48
Reconstructed voxel resolution (mm)	0.43 x 0.43 x 0.48
Bandwidth (Px)	309

Table 1: 3D TSE T1-weighted sequence parameters

C. Images analysis

The nerves were defined as single or multifascicular structures, clearly discernible from the adjacent vascular structures, isointense to muscles, with size similar to the accompanying artery and following an expected anatomic course (12). For each nerve, we had to define precise anatomical criteria from several reference descriptive anatomy works (1)(4)(2) to identify them and to consider them as visible or not visible.

Genitofemoral nerve pierces the psoas muscle at the level of the vertebra L3 or the disc L3-L4 and descends on the anterior face of the psoas muscle where it is crossed by the ureter.

Iliohypogastric nerve emerges from the lateral margin of the psoas muscle at the level of the disc L1-L2, travels on the anterior face of quadratus lumborum muscle, behind the kidney and the pararenal fat and perforates the transverse muscle of the abdomen to runs above and parallel to the iliac crest in the abdominal wall, between the transverse muscle and the internal oblique muscle.

Ilioinguinal nerve has a course similar to the iliohypogastric nerve a few millimeters below it.

Lateral femoral cutaneous nerve emerges from the lateral margin of the psoas muscle, runs on the anterior aspect of the iliac muscle going towards the anterior superior iliac spine and then placing itself over the Sartorius muscle.

Obturator nerve emerges from the medial border of the psoas muscle, has a vertical path and passes in front of the sacroiliac joint, then follows the inner wall of the small pelvis lined by the internal obturator muscle. *Lumbosacral trunk*, formed by the L5 root receiving an anastomosis of L4 root, passes in front of the sacroiliac joint.

Posterior femoral cutaneous nerve leaves the pelvis through the infrapiriform foramen and positioning on the posteromedial border of the sciatic nerve.

Superior gluteal nerve emerges from the pelvis through the suprapiriform foramen, leading upwards and laterally into a fatty space between the medius and minimus gluteal muscles.

Pudendal nerve leaves the pelvis through the infrapiriform foramen in a more medial position than the sciatic nerve and the posterior femoral cutaneous nerve, behind the ischial spine and then travels in the pudendal canal.

Femoral nerve emerges from the lateral margin of psoas muscle and passes down between psoas and iliacus muscles. *Sciatic nerve* leaves the pelvis through the greater sciatic foramen, passing classically beneath piriformis muscle.

A selection of anatomical variants of the lumbosacral plexus described in cadaveric and surgical studies (1)(42)(43) and considered as accessible by MRI was also analyzed (**table 2**).

Visualization of 11 collateral and terminal nerve branches of lumbar (*ilioinguinal, iliohypogastric, genitofemoral, femoral, lateral femoral cutaneous, obturator nerves*) and sacral (*gluteal superior, pudendal, posterior femoral cutaneous, and sciatic nerves and lumbosacral trunk*) plexuses on each side were analyzed (60 plexuses) by two musculoskeletal Radiologists in consensus on a PACS workstation (iSite, Philips). We have tried to define the most constant anatomical landmarks to allow easy identification of each nerve.

D. Data analysis

Data analysis was limited to descriptive statistics. The prevalence of displaying was calculated for each of the 11 nerve derived from the lumbar and sacral plexuses.

The prevalence of the selected anatomical variations was also calculated

NERVE	Anatomical variants
Sciatic nerve	<p>N°1 Anatomical relationship with the piriformis muscle was analyzed and classified according to the Beaton and Anson classification</p>
Lumbosacral trunk	<p>N°2 Absence of the branch from L4 root</p> <p>N°3 Absence of anastomosis between the branch from L4 root and the L5 root, with parallel separated run until sciatic nerve formation</p>
Femoral nerve	<p>N°4 Passage through the split iliac muscle</p> <p>N°5 Posterior to the psoas muscle related to an absence of the deep part of the psoas muscle coming from the transverse processes L4 and L5</p>
Obturator nerve	<p>N°6 Early division before to the obturator foramen</p>
Lateral femoral cutaneous nerves	<p>N°7 Origin from the femoral nerve</p> <p>N°8 Early division in the pelvis</p>
S2 root	<p>N°9 No attachment of the piriformis muscle on second sacral foramen</p>

Table 2: Selected anatomical variants

3. RESULTS

A. Population

30 patients (14 females and 16 males, mean age: 49 +/- 18 years) were included (60 lumbar and sacral plexuses). 25 MR examinations were excluded: 4 for metal artifacts of the orthopedic hardware, 3 for motion artefacts, 8 for unadapted FOV for plexus coverage, and 10 patients referred for nerve exploration or with pathological nerve findings.

B. Conspicuity and variants.

Genitofemoral, ilioinguinal and iliohypogastric nerves were detected in respectively 8 (13%), 0 (0%) and 14 cases (23.3) (**table 3**) Posterior femoral cutaneous nerve was differentiated from the sciatic nerve in 40 cases (66.6%). Lateral femoral cutaneous nerve was seen in 48 cases (80%). Femoral, obturator, superior gluteal, sciatic, and pudendal nerves and lumbosacral trunk were seen in all cases (100%).

Proximal variations of femoral nerve included posterior course to psoas muscle (**fig 5d**) related to an absence of the deep part of the psoas muscle coming from the transverse processes L4 and L5 (17 cases; 28.3%) (**table 4**) and the iliacus muscle splitting or covering the nerve (**fig 5c**) (3 cases; 5%). Lateral femoral cutaneous nerve originating from the femoral (**fig 4c**) nerve was found in 2 cases (4.2%). No early division of the lateral femoral cutaneous nerve was observed in the pelvis. Early division of obturator nerve before the obturator foramen (**fig 2d**) was found in 7 cases (11.7%). Lumbosacral trunk variations included two parallel but non-united trunks L4 and L5 (**fig 1d**) (5 cases; 8.3%) and no contribution of L4 root (4 cases; 6.7%). Sciatic nerve course related to piriformis muscle (Anson and Beaton classification) was classified as type A (56 cases; 93.3%) and type B (**fig 7c**) (4 cases; 6.7%).

No attachment of the piriformis muscle on second sacral foramen was seen in 15 cases (25%).

NERVES	CONSPICUITY /60	PERCENTAGE %
Genitofemoral	8	13
Lumbosacral trunk	60	100
Ilioinguinal	0	0
Obturator	60	100
Lateral femoral cutaneous	48	80
Gluteal superior	60	100
Sciatic	60	100
Iliohypogastric	14	23,3
Femoral	60	100
Pudendal	60	100
Posterior femoral cutaneous	40	66,6

Table 3: Prevalence of each nerve conspicuity (number and percentage)

Nerve	Variation (cf table 3)	Number (%)	Right side	Left side	Unilateral variation	Bilateral variation	Female	Male
Sciatic	N°1 type B Beaton	4 (6.7%)	1	3	4	0	4	0
	type A Beaton	56 (93.3%)	-	-	-	-	-	-
	others types	0 (0%)	0	0	0	0	0	0
Lumbosacral trunk	N°2 no connection	4 (6.7%)	2	2	0	2	0	2
	N°3 parallel run	5 (8.3%)	3	2	1	2	2	1
Femoral	N°4 Split iliacus	3 (5%)	1	2	1	1	1	1
	N°5 Posterior run	17 (28.3%)	7	10	5	6	6	5
Obturator	N°6 Early division	7 (11.7%)	5	2	3	2	2	3
Lateral	N°7 origin	2 (4.2%)	1	1	2	0	1	1
femoral cutaneous	N°8 Pelvic division	0 (0%)	0	0	0	0	0	0
S2 Root	N°9 piriformis	15 (25%)	7	8	3	6	4	5

Table 4: Prevalence of selected variants.

C. Radioanatomical landmarks

Due to the abundance of fat in this region, the union of the L4 branch and the L5 root forming the *lumbosacral trunk* (**fig 1**) is constantly visualized in the absence of an anatomical variant. L5 root is located, in an axial view, in the concavity of the promontory (vertebra S1) and in the same plane the L4 branch of smaller size is visualized anteriorly and laterally, situated posteromedial to the psoas muscle. Caudally, the trunk lumbosacral formed, is located in front of the sacroiliac joint.

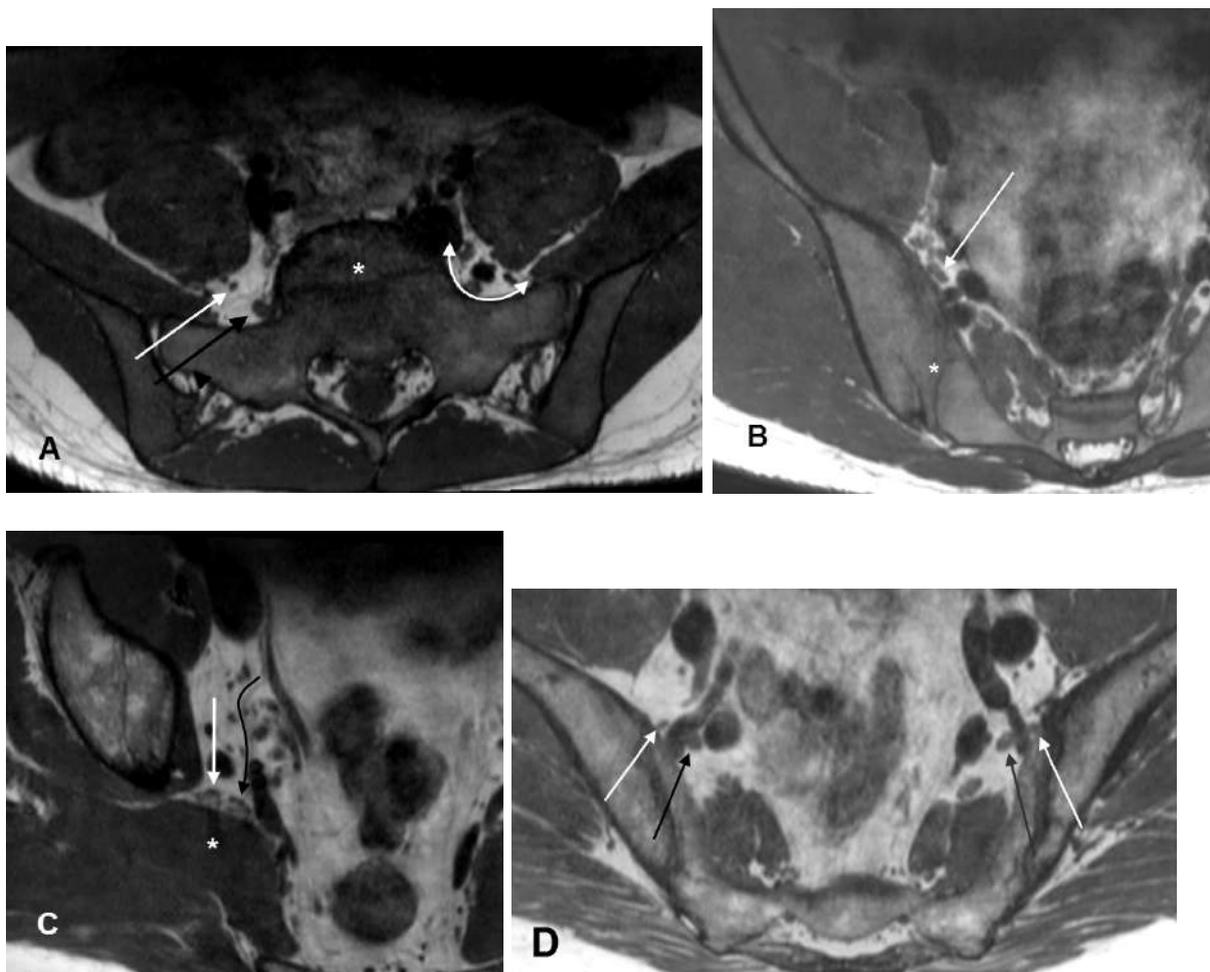


Fig 1: Lumbosacral trunk, Axial 3D Turbo Spin echo T1.

Normal course in 18 year-old-female (a,b,c)

a) L5 root (black arrow) in concavity of promontory (double arrow) and branch of L4 root (white arrow) on the medial border of psoas muscle. White asterisk: S1 vertebra

b) Lumbosacral trunk (white arrow) in front of sacroiliac joint (white asterisk).

c) Lumbosacral trunk (white arrow) joining S1 root (black arrow). White asterisk: piriformis muscle.

Anatomical variant in 60-year-old male (d)

d) Two parallel but non-united trunks L4 (white arrow) and L5 (black arrow), in front of sacroiliac joint.

As for the lumbosacral trunk, the abundance of fat in the region, makes the *obturator nerve* (**fig 2**), despite its small caliber, visible constantly throughout its pelvic course. Its emergence from the medial margin of the psoas muscle at the level of the disc L5-S1 (at 5 o'clock taking the center of the dial as the psoas muscle), and its characteristic vertical path, anterior to the lumbosacral trunk, allow identification of this nerve.

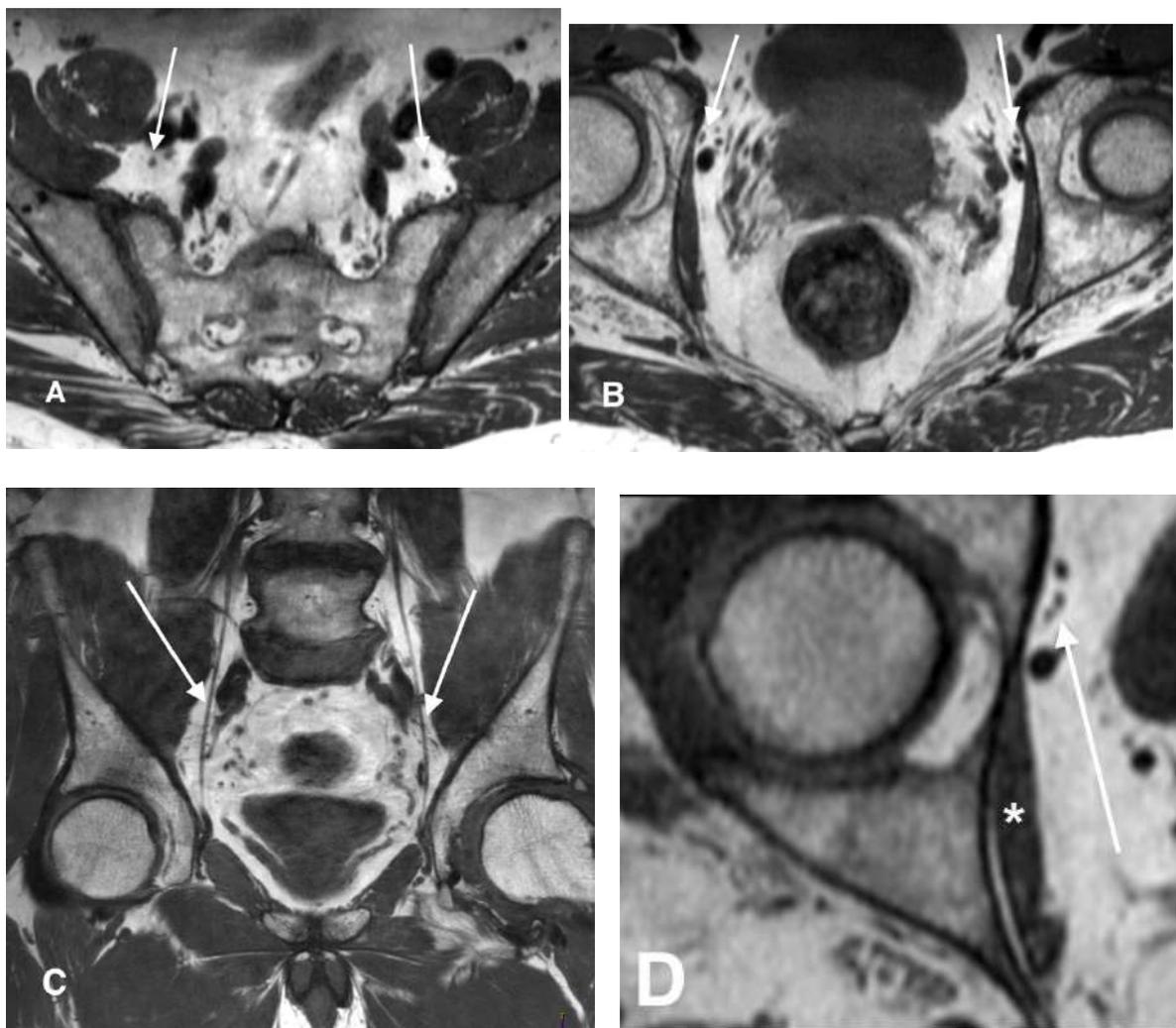


Fig 2: Obturator nerve, 3D Turbo Spin echo T1.

Normal course in 72-year-old man (a,b,c)

- a) Nerve emerging from the medial border of the psoas.
- b) Nerve running along the lateral wall of the lesser pelvis.
- c) Vertical path on coronal plane.

Anatomical variant of obturator nerve in 55-year-old female (d)

- d) Early division in the pelvis.

The *superior gluteal nerve* (**fig 3**) originates from the lumbosacral trunk and the root S1. Its origin of the lumbosacral trunk was constantly visualized whereas its S1 origin was visible in 60% of the cases. Just prior to the union of the lumbosacral trunk and the S1 root at the upper edge of the greater sciatic foramen, the superior gluteal nerve is constantly displayed in the suprapiriform foramen. It is then visualized accompanied by the gluteal vessels in a fatty space located between the medius and minimus gluteal muscles.

The emergence of the *lateral femoral cutaneous nerve* (**fig 4**) to the lateral margin of the psoas muscle (At 8 or 9 o'clock) was visualized (in the absence of anatomical variant) in the strict axial plane passing by the posterior part of the L5-S1 disc. The nerve then runs on the anterior surface of the iliacus muscle.

The *femoral nerve* (**fig 5**) is visualized in the thickness of the psoas muscle, or behind the muscle in the absence of the deep part from L4-L5 (variant No. 5 present in 28.3% of cases). Its emergence at the lateral border of the psoas is visualized caudally to the lateral cutaneous femoral nerve (in the absence of anatomical variant).

The *pudendal nerve* (**fig 6**) is constantly visualized behind the ischial spine and the sacrospinous ligament, which are good radioanatomical landmarks to mark it. It is then visualized within the pudendal canal.

The *sciatic nerve* (**fig 7**), due to its large caliber, is identifiable constantly to the posterior surface of the internal obturator muscle, in front of the gluteal maximus muscle, inwards the sciatic spine. The sagittal view allows a reliable study of its relationship with the piriformis muscle.

When visible, *iliohypogastric nerve* (**fig 9**) was mostly found on the anterior surface of quadratus lumborum muscle, behind the kidney and para renal fat. It was also sometimes spotted between the transverse muscle and the internal oblique muscle above the iliac crest.

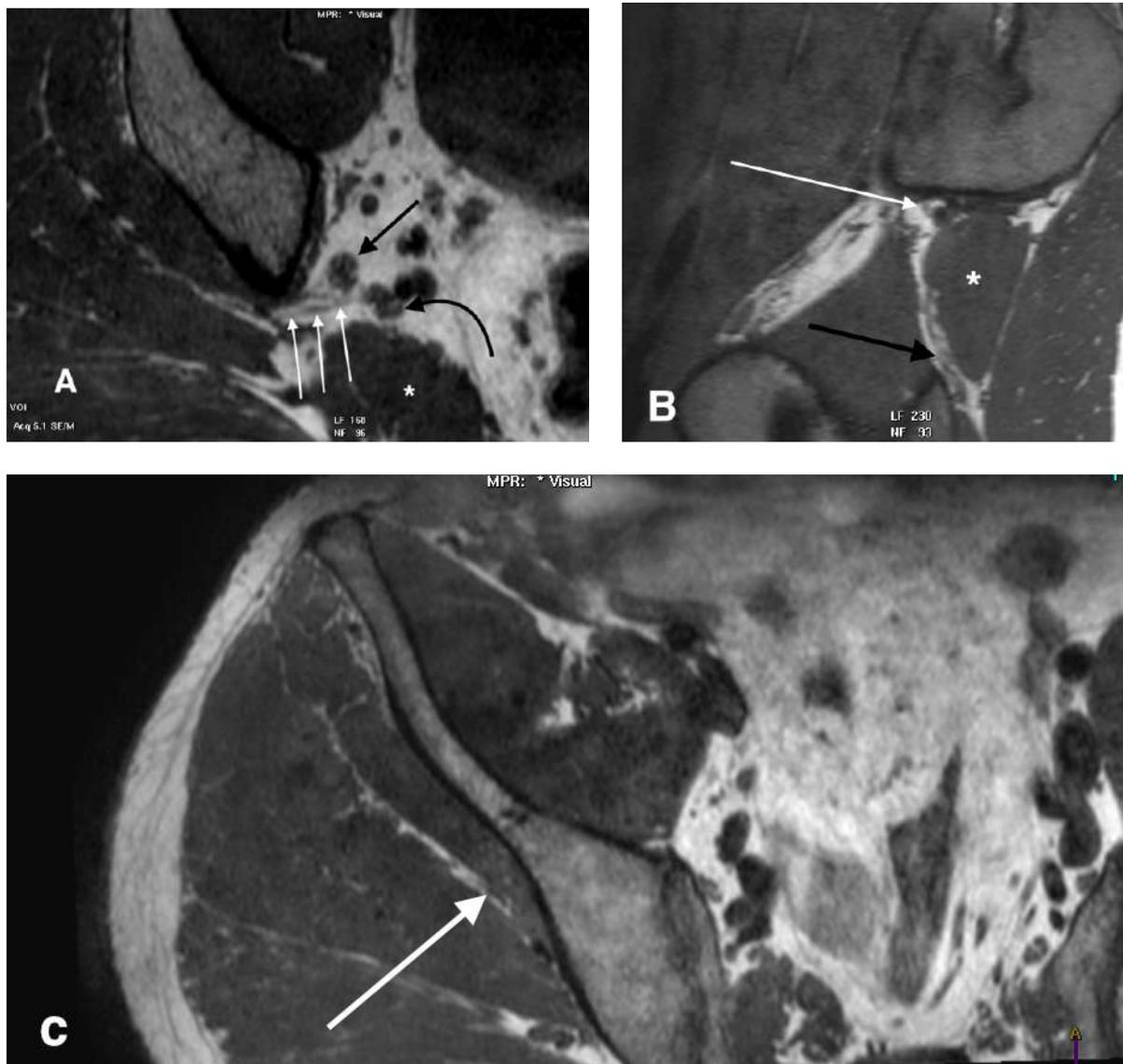


Fig 3: Superior gluteal nerve, 3D Turbo Spin echo T1.

Normal course

a) In a 23-year-old-male, nerve (white arrow) arises from lumbosacral trunk (black arrow) and S1 root (curved black arrow).

b) In a 44-year-old-male, nerve exits the pelvis in the suprapiriform foramen. Piriformis muscle (white asterisk) ; Sciatic nerve (black arrow). Sagittal plane.

c) Nerve in fat filled space between the gluteus medius and minimus muscles.

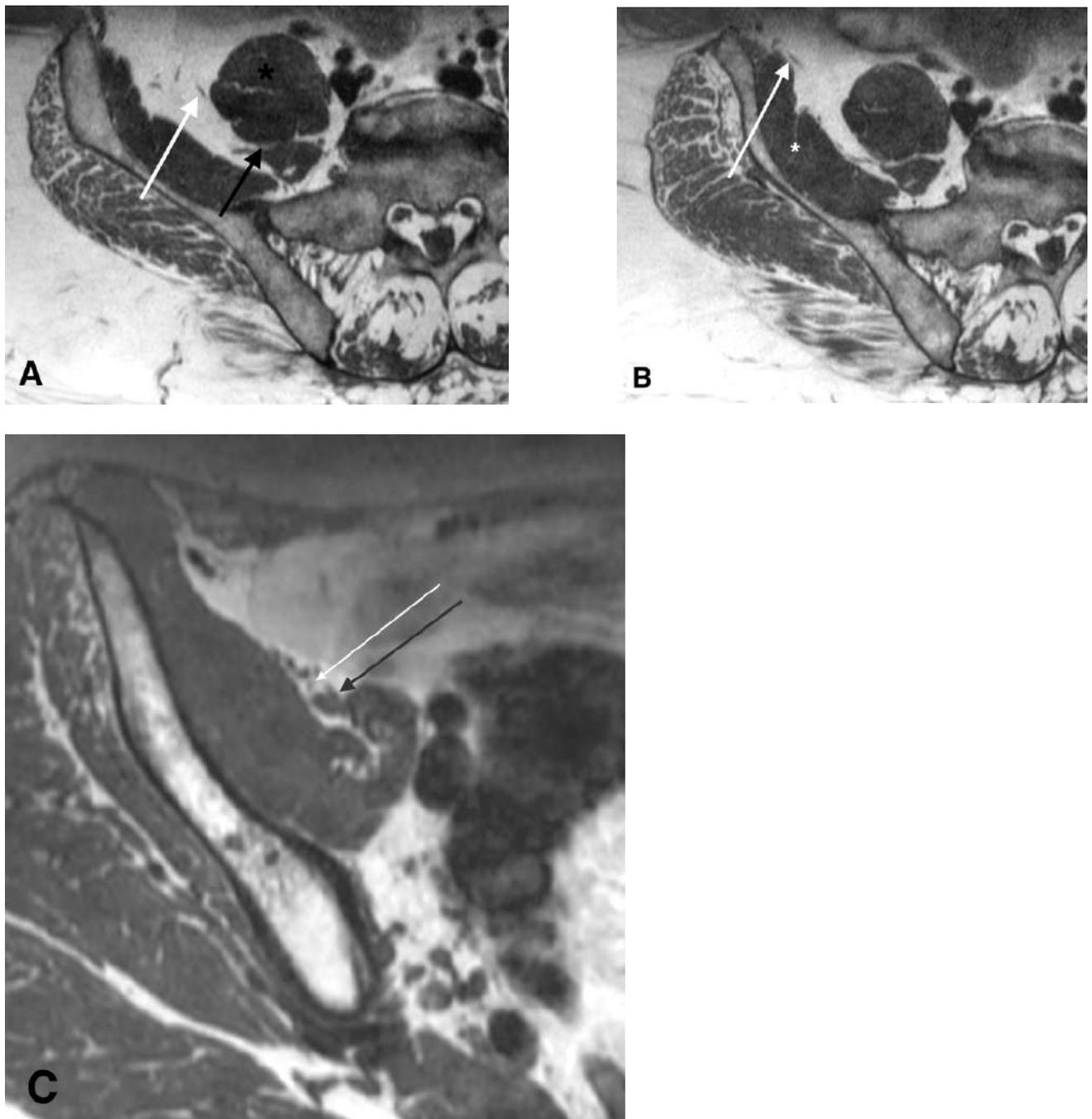


Fig 4: Lateral femoral cutaneous nerve, axial 3D Turbo Spin echo T1.

Normal course in 55 year-old-female (a,b)

a) Nerve (white arrow) emerging from the lateral border of psoas muscle (black asterisk). Femoral nerve (black arrow).

b) Nerve descending along the anterior surface of the iliacus muscle (white asterisk).

Anatomical variant in 54-year-old female (c)

c) Lateral femoral cutaneous nerve (white arrow) originates from femoral nerve (black arrow).

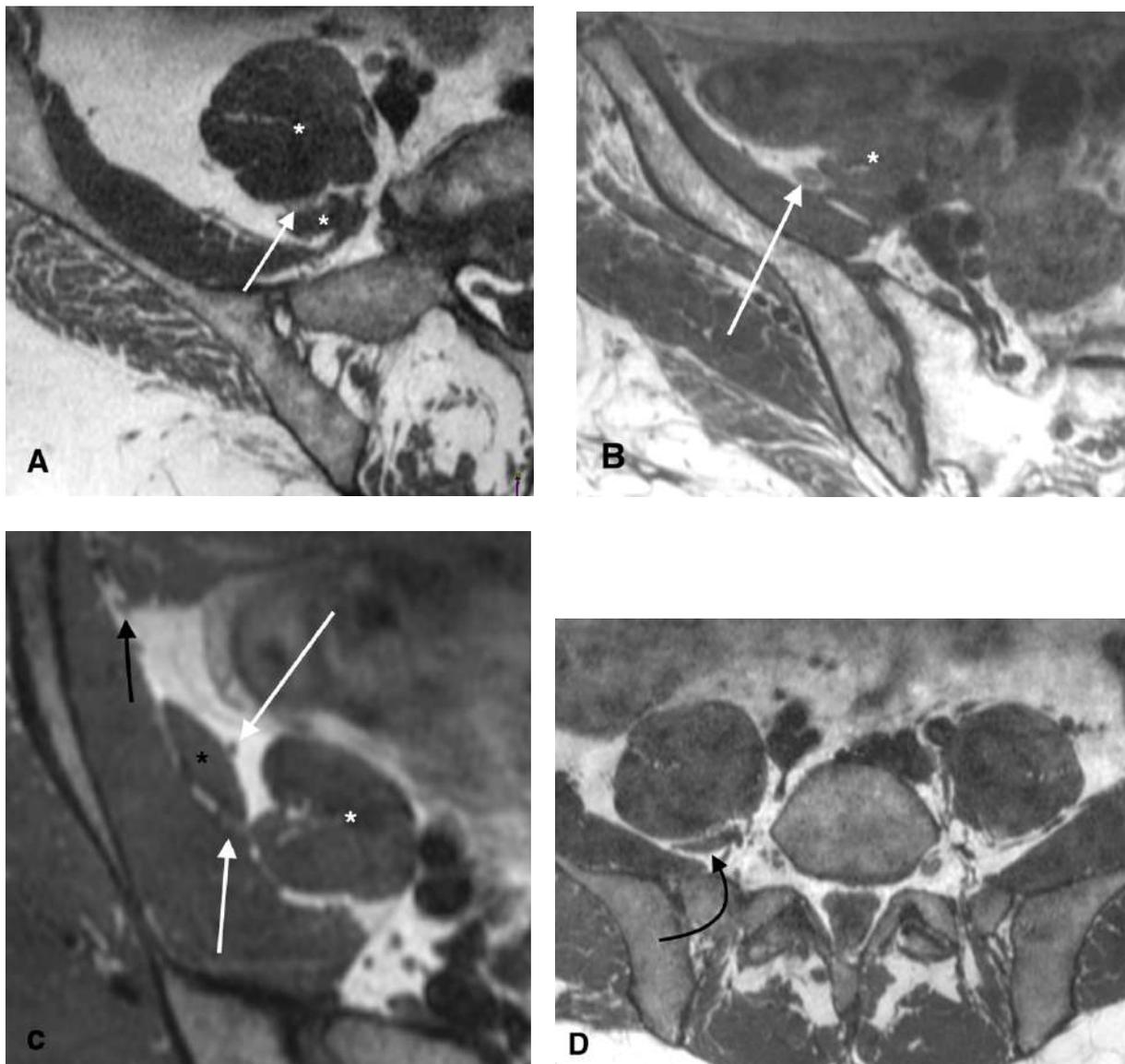


Fig 5: Femoral nerve, axial 3D Turbo Spin echo T1.

Normal course of femoral nerve (white arrow) in 79-year-old female (a,b)

a) Through the psoas major muscle (white asterisk).

b) Between lateral border of psoas muscle and anterior border of iliacus muscle.

Anatomical variant of femoral nerve (c,d)

c) In 34-year-old female, slip of iliacus muscle (black asterisk) piercing the femoral nerve (white arrows). Lateral cutaneous femoral nerve is seen (black arrow).

d) In 44-year-old male, absence of the deep part of the left psoas muscle coming from the transverse processes L4 and L5, displayed on the right (incurred black arrow).

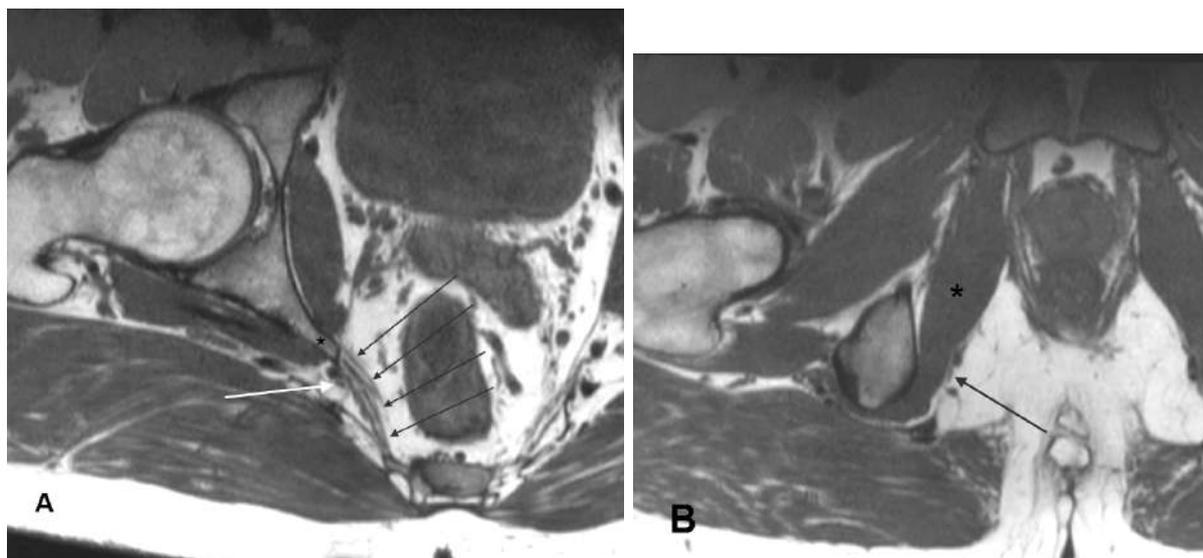


Fig 6: Pudendal nerve, axial 3D Turbo Spin echo T1.

Normal course in 27-year-old-male

a) Nerve (white arrow) near to ischial spine (black asterisk) and sacrospinous ligament (black arrows).

b) Nerve (black arrow) in pudendal canal, medial to the internal obturator muscle (black asterisk).

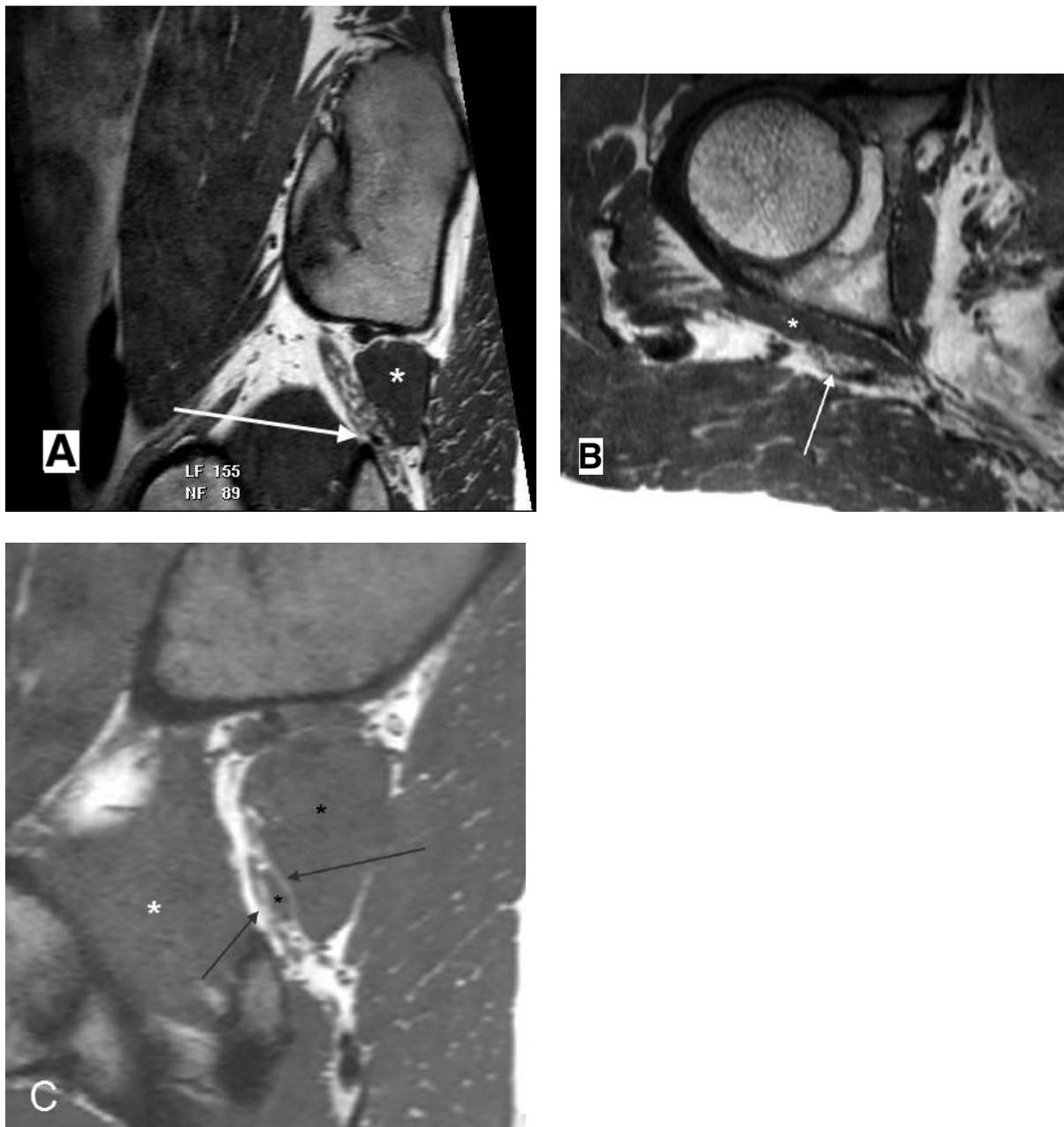


Fig 7: Sciatic nerve, 3D Turbo Spin echo T1.

Normal course of sciatic nerve (white arrow) in 55 year-old-male (a,b)

a) It exits the pelvis by infrapiriform foramen. Sagittal plane.

b) Nerve in gluteal region between internal obturator muscle (white asterisk) and gluteus maximus.

Anatomical variant in 18-year-old-female (c)

c) Sciatic nerve divisions (white arrows) passing through and below the piriformis muscle (black asterisk). White asterisk: internal obturator muscle. Sagittal plane.

The *Posterior femoral cutaneous nerve* (**fig 8**) has the same anatomical relations as the sciatic nerve. It leaves the pelvis through the infrapiriform foramen by placing itself on the posteromedial border of the sciatic nerve.

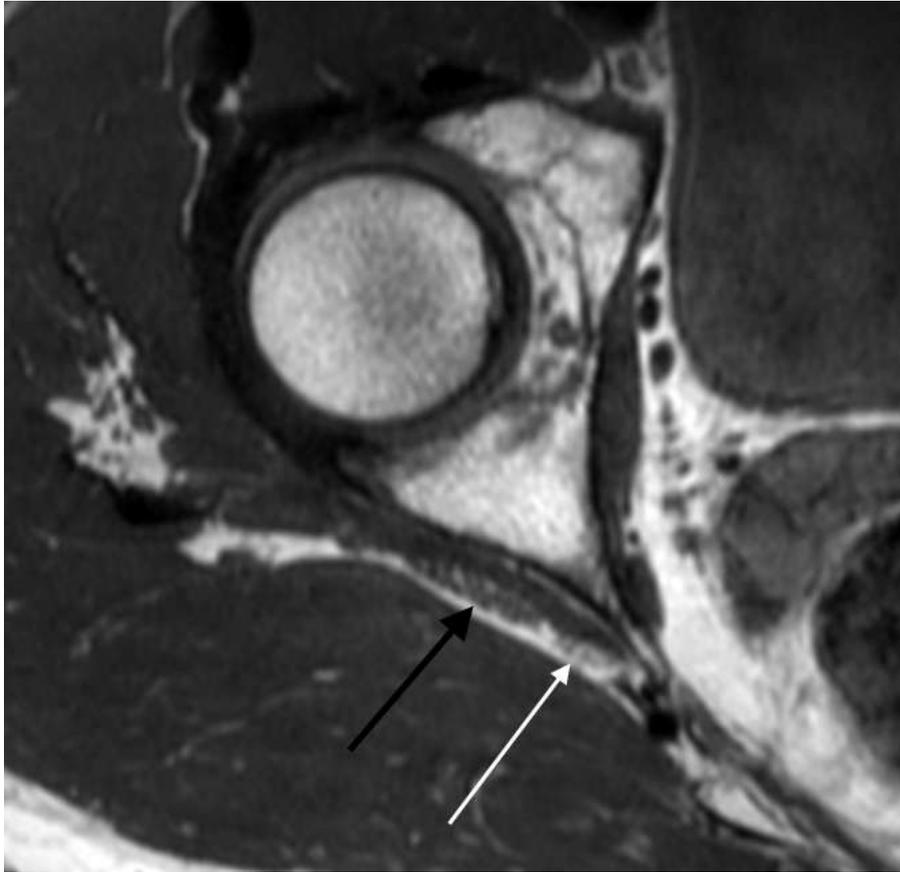


Fig 8: Posterior cutaneous femoral nerve, Axial 3D Turbo Spin echo T1. Nerve (white arrow) on posteromedial side of sciatic nerve (black arrow) in 51-year-old-male.

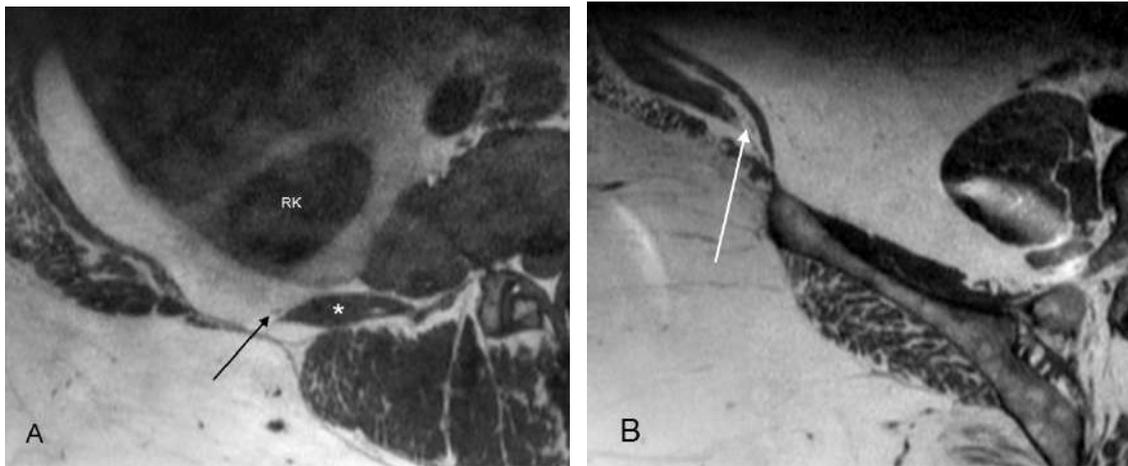


Fig 9: Iliohypogastric nerve, axial 3D Turbo Spin echo T1.

Normal course in 55-year-old-female

a) Nerve runs over the anterior aspect of quadratus lumborum muscle (white asterisk) behind the right kidney (RK).

b) Nerve in the lateral abdominal wall between the transverse abdominal muscle the internal oblique muscle.

For the *genitofemoral* (fig. 10) and *ilioinguinal* nerve, their visualization was insufficient to establish radioanatomical landmarks. The small caliber of these nerves and the little fat of this region made them difficult to discern the adjacent muscular and vascular structures.



Fig 10: Genitofemoral nerve, axial 3D Turbo Spin echo T1.

Nerve (white arrow) over the anterior aspect of psoas major muscle (white asterisk).

4. DISCUSSION

In our study, 3D TSE T1-weighted sequence allows a high rate of nerve detection in addition to the knowledge of radioanatomical MR landmarks of each nerve.

The 3D isotropic TSE T1-weighted sequence is performed in daily practice with acceptable scan time since the advent of 3Tesla MRIs (15). Due to its very good spatial resolution and multiplanar reconstruction (MPR) capacities, it allows an accurate anatomical evaluation of the majority of the branches of the lumbosacral plexus. MPR and curved planar reformations (CPR) allows better conspicuity of nerves with oblique course than standard axial et and coronal planes (11). We consider that it may be include in the MR protocol for the lumbosacral plexus assessment instead of the conventional 2D axial and coronal T1 sequences, usually included in the MR protocol (13)(11), without significantly increasing examination time. This sequence also allows a more accurate visibility of the nerves compared to the 3D sequences T2-weighted with fat saturation, dedicated to detection of the signal abnormalities. Kasper et al (32) reported, on 3D SE STIR sequences, the small branches of the lumbosacral plexus including the obturator, lateral femoral cutaneous and iliohypogastric nerves were respectively visualized in 58% (10/17), 29% (5/17) and 5.9% (1/17) of the cases, compared with 100%, 80% and 23.3% respectively in the 3D SE T1-weighted sequence in our study.

The analysis of the anatomical variants was also described on this sequence. The anatomical variants of the lumbosacral plexus are numerous, abundantly described in the literature from cadaveric and surgical studies (42)(1)(5). Despite of that, only a few imaging studies reported anatomical variations, focused on main large trunks, such as sciatic nerve. Concerning the variable relationship between sciatic nerve and piriformis muscle, K. Natsis et al (44) reported that in 294 cases, the sciatic nerve divisions passing through and below the piriformis muscle (type B of Beaton and Anson classification) was present in 4.1% of cases versus 6.7% in our study. The other types of Beaton and Anson classification was observed in only 0.3% of the

cases and less, which was consistent with the current study. Concerning the relationship between the femoral nerve and iliacus muscle, M.T Vazquez et al (45) reported that slips of iliacus muscle piercing or covering the femoral nerve were found in 7.9%, versus 5% in the current study. For the lumbosacral trunk, Urbanowicz (42) reported no connection between lumbar plexus and sacral plexus in 7.6% of cases, versus 6.7% in our study. Lateral femoral cutaneous nerve was not seen in 20% of cases in our study, but Carai et al. (46) (2009) reported that the lateral femoral cutaneous nerve was absent in 13 (8.8%) of 148 patients who received surgical intervention for meralgia paresthetica. It is likely that some lateral cutaneous femoral nerves not seen in MRI were actually absent. For obturator nerve, one study (42) reported that the nerve divided within the pelvis in 23.22%, versus 11.7% in our study. Regarding the other anatomical variants, although well described in several anatomical references (42)(9), our literary research did not find prevalence statistics.

The knowledge and identification of anatomical variations on MRI can be essential, for a surgeon to plan surgery, also for an anesthetist in view of a nerve block. Some anatomical variants can be associated with entrapment neuropathies, such as the piriformis syndrome (47) or between femoral nerve and muscular slips from iliacus and psoas (45). In addition, knowledge of certain anatomical variations may explain atypical clinical pictures. This is the case for the lateral cutaneous nerve of the thigh absent or originating from the femoral nerve. In these cases, involvement of the femoral nerve will give a cruralgia but also a meralgia paresthetica which can lead to confusion for the clinician (48). Our study emphasizes the role of MRI in displaying with conspicuity these variations.

Our study has several limitations. First It is a retrospective study and the analysis of the data was carried out in consensus which precludes calculating an interobserver reliability. Moreover, we had no correlation with surgical data.

5. CONCLUSION

Notre étude a démontré que la séquence 3D TSE T1 permet une visualisation précise de la plupart des nerfs du plexus lombosacral grâce à sa haute résolution spatiale et à sa capacité de reconstructions multiplanaires, sous réserve d'une bonne connaissance des repères radioanatomiques décrits dans ce travail.

Elle permet aussi de repérer certaines variantes anatomiques bien connues en dissection ou en chirurgie, mais qui n'avaient encore jamais été décrites en imagerie, avec une bonne cohérence externe en terme de prévalence. Les éventuelles implications cliniques de ces variantes pourront faire l'objet d'études spécifiques.

Nous considérons que, sur une IRM 3 Tesla, cette séquence 3D TSE T1 peut remplacer les séquences conventionnelles 2D T1 réalisées dans le plan axial et coronal, sans allonger significativement le temps d'examen, tout en apportant une plus-value sur la précision anatomique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Hovelacque A. Anatomie des nerfs craniens et rachidiens et du système grand sympathique chez l'homme: avec 89 figures dans le texte et CXXI planches hors texte. Paris, France: O. Doin; 1927. 873 p.
2. Lazorthes G. Le système nerveux périphérique: description, systématisation, exploration. Paris, France: Masson et Cie; 1971. vi+509.
3. Kamina P, Gouazé A. Anatomie clinique : Tome 1, Anatomie générale, membres. 4e édition. Paris: Maloine; 2009. 577 p.
4. Testut L, Latarjet A, Latarjet M. Traité d'anatomie humaine. Paris, France: G. Doin et Cie; 1948. 1222+1277+1164+754+618.
5. Anloague PA, Huijbregts P. Anatomical variations of the lumbar plexus: a descriptive anatomy study with proposed clinical implications. J Man Manip Ther. 2009;17(4):e107-114.
6. Demondion X. JFR 2011 - Anatomie ostéo-articulaire autour de la hanche 3e partie [Internet.
7. Cotten A. Imagerie musculosquelettique: Pathologies locorégionales. Elsevier Masson; 2008. 888 p.
8. Gaudin C. Les nerf cluniaux inférieurs. Mémoire de Master I Sciences biologiques et médicales. Nantes. Laboratoire d'anatomie de la faculté de médecine de Nantes. 2005, 30p.
9. Imaios. E-anatomy, (en ligne). <https://www.imaios.com/fr>.
10. Howe FA, Filler AG, Bell BA, Griffiths JR. Magnetic resonance neurography. Magn Reson Med. déc 1992;28(2):328-38.
11. Delaney H, Bencardino J, Rosenberg ZS. Magnetic resonance neurography of the pelvis and lumbosacral plexus. Neuroimaging Clin N Am. févr 2014;24(1):127-50.

12. Maravilla KR, Bowen BC. Imaging of the peripheral nervous system: evaluation of peripheral neuropathy and plexopathy. *AJNR Am J Neuroradiol.* juill 1998;19(6):1011-23.
13. Soldatos T, Andreisek G, Thawait GK, Guggenberger R, Williams EH, Carrino JA, et al. High-resolution 3-T MR neurography of the lumbosacral plexus. *Radiogr Rev Publ Radiol Soc N Am Inc.* août 2013;33(4):967-87.
14. Chhabra A. Magnetic resonance neurography-simple guide to performance and interpretation. *Semin Roentgenol.* avr 2013;48(2):111-25.
15. Tagliafico A, Succio G, Emanuele Neumaier C, Serafini G, Ghidara M, Calabrese M, et al. MR imaging of the brachial plexus: comparison between 1.5-T and 3-T MR imaging: preliminary experience. *Skeletal Radiol.* juin 2011;40(6):717-24.
16. Neufeld EA, Shen PY, Nidecker AE, Runner G, Bateni C, Tse G, et al. MR Imaging of the Lumbosacral Plexus: A Review of Techniques and Pathologies. *J Neuroimaging Off J Am Soc Neuroimaging.* oct 2015;25(5):691-703.
17. Andreisek G, Chhabra A. MR neurography: pitfalls in imaging and interpretation. *Semin Musculoskelet Radiol.* avr 2015;19(2):94-102.
18. Filler AG, Maravilla KR, Tsuruda JS. MR neurography and muscle MR imaging for image diagnosis of disorders affecting the peripheral nerves and musculature. *Neurol Clin.* août 2004;22(3):643-682, vi-vii.
19. Filler A. Magnetic resonance neurography and diffusion tensor imaging: origins, history, and clinical impact of the first 50,000 cases with an assessment of efficacy and utility in a prospective 5000-patient study group. *Neurosurgery.* oct 2009;65(4 Suppl):A29-43.
20. Madhuranthakam AJ, Lenkinski RE. Technical advancements in MR neurography. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2015;19(2):86-93.
21. Cho Sims G, Boothe E, Joodi R, Chhabra A. 3D MR Neurography of the

- Lumbosacral Plexus: Obtaining Optimal Images for Selective Longitudinal Nerve Depiction. *AJNR Am J Neuroradiol.* 7 juill 2016;
22. Chhabra A, Carrino J. Current MR neurography techniques and whole-body MR neurography. *Semin Musculoskelet Radiol.* avr 2015;19(2):79-85.
23. Vargas MI, Viallon M, Nguyen D, Beaulieu JY, Delavelle J, Becker M. New approaches in imaging of the brachial plexus. *Eur J Radiol.* mai 2010;74(2):403-10.
24. Chhabra A, Rozen S, Scott K. Three-dimensional MR neurography of the lumbosacral plexus. *Semin Musculoskelet Radiol.* avr 2015;19(2):149-59.
25. Cotten A, Haddad F, Hayek G, Lefebvre G, Dodré E, Budzik J-F. Tractography: Possible Applications in Musculoskeletal Radiology. *Semin Musculoskelet Radiol.* sept 2015;19(4):387-95.
26. Takahara T, Imai Y, Yamashita T, Yasuda S, Nasu S, Van Cauteren M. Diffusion weighted whole body imaging with background body signal suppression (DWIBS): technical improvement using free breathing, STIR and high resolution 3D display. *Radiat Med.* août 2004;22(4):275-82.
27. Oppenheim C, Ducreux D, Rodrigo S, Hodel J, Tourdias T, Charbonneau F, et al. [Diffusion tensor imaging and tractography of the brain and spinal cord]. *J Radiol.* mars 2007;88(3 Pt 2):510-20.
28. van der Jagt PKN, Dik P, Froeling M, Kwee TC, Nievelstein RAJ, ten Haken B, et al. Architectural configuration and microstructural properties of the sacral plexus: a diffusion tensor MRI and fiber tractography study. *NeuroImage.* sept 2012;62(3):1792-9.
29. ECR 2013 / C-1123 / DTI tractography of lumbosacral plexus and sciatic nerve: normal FA and ADC values - EPOS™ [Internet]. [cité 9 déc 2016]. Disponible sur: http://posterng.netkey.at/esr/viewing/index.php?module=viewing_poster&task=viewsection&ti=380988

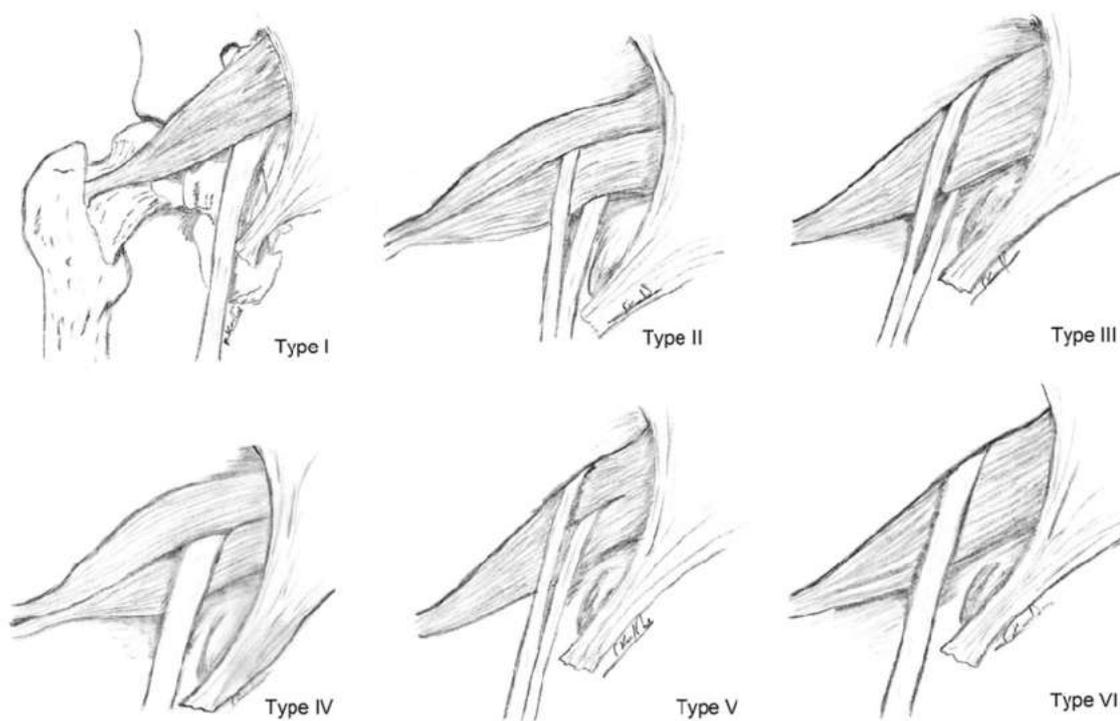
30. Krinsky G, Rofsky NM, Weinreb JC. Nonspecificity of short inversion time inversion recovery (STIR) as a technique of fat suppression: pitfalls in image interpretation. *AJR Am J Roentgenol.* mars 1996;166(3):523-6.
31. Chen W-C, Tsai Y-H, Weng H-H, Wang S-C, Liu H-L, Peng S-L, et al. Value of enhancement technique in 3D-T2-STIR images of the brachial plexus. *J Comput Assist Tomogr.* juin 2014;38(3):335-9.
32. Kasper JM, Wadhwa V, Scott KM, Rozen S, Xi Y, Chhabra A. SHINKEI--a novel 3D isotropic MR neurography technique: technical advantages over 3DIRTSE-based imaging. *Eur Radiol.* juin 2015;25(6):1672-7.
33. Zhang ZW, Song LJ, Meng QF, Li ZP, Luo BN, Yang YH, et al. High-resolution diffusion-weighted MR imaging of the human lumbosacral plexus and its branches based on a steady-state free precession imaging technique at 3T. *AJNR Am J Neuroradiol.* juin 2008;29(6):1092-4.
34. Chhabra A, Subhawong TK, Bizzell C, Flammang A, Soldatos T. 3T MR neurography using three-dimensional diffusion-weighted PSIF: technical issues and advantages. *Skeletal Radiol.* oct 2011;40(10):1355-60.
35. Chappell KE, Robson MD, Stonebridge-Foster A, Glover A, Allsop JM, Williams AD, et al. Magic angle effects in MR neurography. *AJNR Am J Neuroradiol.* mars 2004;25(3):431-40.
36. Kästel T, Heiland S, Bäumer P, Bartsch AJ, Bendszus M, Pham M. Magic angle effect: a relevant artifact in MR neurography at 3T? *AJNR Am J Neuroradiol.* mai 2011;32(5):821-7.
37. Petchprapa CN, Rosenberg ZS, Sconfienza LM, Cavalcanti CFA, Vieira RLR, Zember JS. MR imaging of entrapment neuropathies of the lower extremity. Part 1. The pelvis and hip. *Radiogr Rev Publ Radiol Soc N Am Inc.* août 2010;30(4):983-1000.

38. Chhabra A, Belzberg AJ, Rosson GD, Thawait GK, Chalian M, Farahani SJ, et al. Impact of high resolution 3 tesla MR neurography (MRN) on diagnostic thinking and therapeutic patient management. *Eur Radiol.* mai 2016;26(5):1235-44.
39. Howe FA, Filler AG, Bell BA, Griffiths JR. Magnetic resonance neurography. *Magn Reson Med.* déc 1992;28(2):328-38.
40. Chhabra A, Zhao L, Carrino JA, Trueblood E, Koceski S, Shteriev F, et al. MR Neurography: Advances. *Radiol Res Pract.* 2013;2013:809568.
41. Viallon M, Vargas MI, Jlassi H, Lövblad KO, Delavelle J. High-resolution and functional magnetic resonance imaging of the brachial plexus using an isotropic 3D T2 STIR (Short Term Inversion Recovery) SPACE sequence and diffusion tensor imaging. *Eur Radiol.* mai 2008;18(5):1018-23.
42. Tubbs RS, Shoja MM, Loukas M. Bergman's Comprehensive Encyclopedia of Human Anatomic Variation. John Wiley & Sons; 2016. 1455 p.
43. B Astik R. Anatomical Variations in Formation and Branching Pattern of the Femoral Nerve in Iliac Fossa: A Study in 64 Human Lumbar Plexuses.
44. Natsis K, Totlis T, Konstantinidis GA, Paraskevas G, Piagkou M, Koebke J. Anatomical variations between the sciatic nerve and the piriformis muscle: a contribution to surgical anatomy in piriformis syndrome. *Surg Radiol Anat SRA.* avr 2014;36(3):273-80.
45. Vázquez MT, Murillo J, Marañillo E, Parkin IG, Sanudo J. Femoral nerve entrapment: a new insight. *Clin Anat N Y N.* mars 2007;20(2):175-9.
46. Carai A, Fenu G, Sechi E, Crotti FM, Montella A. Anatomical variability of the lateral femoral cutaneous nerve: findings from a surgical series. *Clin Anat N Y N.* avr 2009;22(3):365-70.
47. Filler AG, Haynes J, Jordan SE, Prager J, Villablanca JP, Farahani K, et al. Sciatica of nondisc origin and piriformis syndrome: diagnosis by magnetic resonance neurography and interventional magnetic resonance imaging with outcome study of resulting treatment. *J*

Neurosurg Spine. févr 2005;2(2):99-115.

48. Cheatham SW, Kolber MJ, Salamh PA. Meralgia paresthetica: a review of the literature. Int J Sports Phys Ther. déc 2013;8(6):883-93.

ANNEXES



Annexe 1 : Classification de Beaton et Anson, Natsis K. (44)



Annexe 2 : Vue antérieure du plexus lombosacral. Muscle grand psoas et fascia iliaque retirés.

- | | |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| (1) Rachis lombaire | (5) Nerf ilio-inguinal |
| (2) Nerf fémoral | (6) Nerf cutané latéral de la cuisse |
| (3) Muscle iliaque | (7) Nerf génito-fémoral |
| (4) Nerf ilio-hypogastrique | (8) Nerf obturateur |

Laboratoire d'anatomie, faculté de médecine de Lille. Pr X.Demondion ; Dr G.Lefebvre

NERF	REPERES ET CARACTERISTIQUES
Fémoral	<ul style="list-style-type: none"> • Nerf de gros calibre pluri fasciculaire • Chemine dans l'épaisseur du Psoas • Emergence du bord latéral du Psoas en S1-S2 • Situé dans l'angle dièdre du Psoas et de l'Iliaque
Obturateur	<ul style="list-style-type: none"> • Emergence du bord médial du Psoas en L5-S1 • Trajet vertical caractéristique • Longe la paroi interne du petit bassin
Cutané latéral de la cuisse	<ul style="list-style-type: none"> • Emergence du bord latéral du Psoas en L5-S1 • Chemine sur le muscle iliaque • En direction de l'EIAS
Génito-fémoral	<ul style="list-style-type: none"> • Emergence à la partie antérieure du Psoas en L3-L4 • Chemine sur la face antérieure du psoas
Ilio-hypogastrique	<ul style="list-style-type: none"> • Chemine sur la face antérieure du Carré des lombes en arrière de la graisse para rénale • Perfore le transverse et chemine dans la paroi abdominale latérale en profondeur de l'oblique interne • Trajet arciforme similaire à un nerf intercostal
Tronc lombosacral (TLS)	<ul style="list-style-type: none"> • Racine L5 dans la concavité du promontoire et anastomose L4 à la face postéromédiale du psoas • TLS formé en avant de l'articulation sacro-iliaque
Sciatique	<ul style="list-style-type: none"> • Nerf de gros calibre pluri fasciculaire • Graisse inter fasciculaire abondante • Sort du pelvis par le foramen infra piriforme • Situé entre l'obturateur interne et le gland glutéal dans la région glutéale
Cutané postérieur de la cuisse	<ul style="list-style-type: none"> • Sort du pelvis par le foramen infra piriforme • Situé à la face postéromédiale du nerf sciatique
Glutéal supérieur	<ul style="list-style-type: none"> • Sort du pelvis par le foramen supra piriforme • Situé dans un espace graisseux entre le petit et le moyen glutéal
Pudental	<ul style="list-style-type: none"> • Situé en arrière de l'épine ischiatique et du ligament sacro-épineux • Chemine au sein du canal pudental

Annexe 3 : Tableau récapitulatif ; repères des nerfs du plexus lombosacral.

AUTEUR : Nom : HANCKOWIAK

Prénom : JEREMY

Date de Soutenance : Mardi 23 Mai 2017 à 16h00

Titre de la Thèse : Visibilité, variantes et repères radioanatomiques du plexus lombosacral en IRM 3T

Thèse - Médecine - Lille 2017

Cadre de classement : *Imagerie musculo-squelettique*

DES + spécialité : *Radiodiagnostic et Imagerie médicale*

Mots-clés : IRM, Plexus, Lombosacral, Anatomie, Variation

CONTEXTE

L'IRM occupe une place centrale dans l'exploration du plexus lombosacral. Malgré la littérature abondante sur les nouvelles séquences IRM 3D dont le but est d'améliorer l'analyse du signal des nerfs du plexus (3D STIR, 3D PSIF...), peu d'études se sont intéressées aux performances, en terme de précision anatomique, de la séquence morphologique 3D TSE T1.

OBJECTIFS

Analyser la visibilité, les variantes et les repères radioanatomiques des nerfs du plexus lombosacral sur une séquence 3D TSE T1 en IRM 3T.

MATERIELS ET METHODES

Nous avons analysé rétrospectivement toutes les IRM du pelvis incluant une séquence 3D isotropique (voxel : 0,43x0,43x0,48mm) TSE T1 (TR/TE : 350/20,5ms) réalisées sur une IRM 3T entre janvier 2016 et décembre 2016. Les exclusions étaient en rapport avec un champ de vue inadapté pour le plexus, des artefacts et la recherche ou la découverte de neuropathies. La visibilité des nerfs des plexus lombal et sacral a été analysée en consensus par deux radiologues. Une sélection de variantes et des repères radioanatomiques ont aussi été analysés.

RESTULATS

25 patients ont été exclus. 30 patients (14 femmes and 16 hommes, âge moyen : 49 +/- 18 ans) ont été inclus (60 plexus lombaux et sacraux). Les nerfs génito-fémoral, ilio-inguinal et ilio-hypogastrique ont été visualisés respectivement 8 (13%), 0 (0%) et 14 fois (23,3%). Le nerf cutané postérieur de la cuisse était différencié du nerf sciatique 40 fois (66,6%). Le nerf cutané latéral de la cuisse a été visualisé dans 48 cas (80%). Les nerfs fémoral, obturateur, glutéal supérieur, sciatique et pudendal et le tronc lombosacral ont été visualisés dans tous les cas (100%). Les variantes proximales du nerf fémoral analysées étaient un trajet postérieur au muscle psoas (17 cas ; 28,3%) et un faisceau accessoire du muscle iliaque divisant le nerf (3 cas ; 5%). Une naissance du nerf cutané latéral de la cuisse à partir du nerf fémoral a été observée dans 2 cas (4,2%). Une division précoce du nerf obturateur dans le pelvis avant le foramen obturé a été retrouvé dans 7 cas (11,7%). Les variantes du tronc lombosacral étaient la non union avec un trajet parallèle des branches L4 et L5 (5 cas ; 8,3%) et l'absence de contribution de la racine L4 (4 cas ; 6,7%). Le rapport du nerf sciatique avec le muscle piriforme a été classé selon Anson et Beaton en type A (56 cas ; 93,3%) et en type B (4 cas ; 6,7%).

CONCLUSION

La séquence 3D isotropique TSE T1 permet une visualisation précise de la plupart des nerfs du plexus lombosacral et reconnaît certaines variantes anatomiques qui pourraient avoir des implications cliniques.

Composition du Jury :

Président : Madame le Professeur Cotten

Assesseurs : Monsieur le Professeur Xavier Demondion
Monsieur le Professeur Antoine Drizenko
Monsieur le Docteur Guillaume Lefebvre