

**UNIVERSITE DE NANTES**

---

**FACULTE DE MEDECINE**

---

Année : 2018-2019

N° 2019-172

**THESE**

pour le

**DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN MEDECINE**

Rhumatologie

par

Paul ARNOLFO

né le 10 février 1989 à Villeneuve Saint Georges

---

Présentée et soutenue publiquement le 9 octobre 2019

---

Etude randomisée comparant l'apprentissage en ligne et en présentiel de  
l'échographie des nerfs. Evaluation d'un outil de formation en ligne

---

Président : Monsieur le Professeur Yves MAUGARS

Directeur de thèse : Monsieur le Professeur Benoit LE GOFF

## REMERCIEMENTS

Pour commencer je tiens particulièrement à remercier :

Le **Pr Benoit LE GOFF** de m'avoir initié à l'échographie et plus particulièrement à l'échographie des nerfs, de m'avoir encadré pour mes 2 mémoires et ma thèse. J'aimerais également le remercier de m'avoir apporté, par sa pédagogie, cette volonté de continuer à apprendre et de progresser, un élément crucial de l'internat.

Le **Pr PEREON**, le **Dr MAGOT** et le **Dr FAYET** de m'avoir encadré lors de mon stage aux explorations fonctionnelles neurologiques du CHU de Nantes et permis de réaliser de nombreuses échographies sur des pathologies rares ; Ce stage a été le début de ce travail et m'a permis de découvrir un nouvel univers échographique. Je les remercie également de la confiance qu'ils m'accordent en m'adressant leur patient.

Le **Pr MAUGARS** pour avoir accepté de présider le jury de cette thèse et pour ses enseignements durant cet internat.

Le **Pr POTTIER** d'avoir accepté de participer au jury de cet thèse et de nous apporter sa vision pluridisciplinaire en tant que médecin interniste et référent en pédagogie dans la faculté de médecine de Nantes.

**Mes co-internes** tout d'abord rhumatologues (Benoit, Pauline, Charlotte, Laurie, Julien, Adrien, Nicolas, Romain, et Emeline) mais aussi endocrinologues, rééducateurs et neurologues qui m'ont soutenu pendant ces années d'internat.

**Les séniors du service de rhumatologie** (Dr GUILLOT, Dr GLEMAREC, Dr DARRIEUTORT, Dr JOUBERT-BULLIER et le Dr BERTHELOT), mes anciens co-internes (Dr NAJM et Dr GARRAUD), et l'équipe du service de rhumatologie de la Roche sur Yon pour tout ce qu'ils m'ont enseigné et leur confiance.

**Aux participants de l'étude** pour avoir accepté de passer du temps à tester l'outil en ligne, de s'être déplacés à Nantes pour finaliser l'étude malgré de longue distance pour certains.

Merci à **Benoit Metayer, Benoit Front, Paul Humbert et Julien De Lima** de m'avoir aidé en temps que modèle pour la réalisation de l'outil ou lors de la journée d'évaluation, à **Alexia** pour avoir été la première à tester l'outil.

Merci également à la faculté de médecine de Nantes de nous avoir permis d'organiser cette journée de formation à l'échographie des nerfs et à **Florence QUILLIOT** de nous avoir créé un accès à la plateforme en ligne « extradoc ».

Merci à Mme **Sarah BERNARD** et l'équipe SAMSUNG pour nous avoir prêté 6 appareils d'échographie de très bonne résolution et les conseils techniques durant la journée de formation.

Un très grand merci à :

**Cyrina** qui me soutient quotidiennement depuis ma première année de médecine, me motive à continuer d'apprendre, et qui a dû subir de longues heures d'échographie. Merci pour sa

patience devant ce cursus qui n'a l'air de ne jamais finir. Merci d'avoir pleinement participé à cette thèse en m'ayant aidé à encadrer la journée de formation et en ayant relu ce travail. On ne se rend pas assez compte de l'importance du soutien de l'entourage au quotidien durant le cursus médical.

Et pour finir un grand merci aux membres de **ma famille**, qui me soutiennent depuis toutes ces années et pour qui je n'ai pas eu beaucoup de temps depuis 5 ans. Un grand merci tout particulier à mes parents qui ont également participé à cette thèse par leur conseil et en l'ayant relue activement.

## **TABLE DES MATIERES**

<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>6</b>
1.1. ECHOGRAPHIE DES NERFS .....	6
1.1.1. Généralités sur l'échographie des nerfs .....	6
1.1.2. Place de l'échographie des nerfs .....	7
1.1.3. Un outil en évolution.....	10
1.2. E-LEARNING .....	11
1.2.1. E-learning et apprentissage dans le domaine de la santé .....	11
1.2.2. E-learning et apprentissage de l'échographie en rhumatologie .....	11
1.3. OBJECTIFS DE L'ETUDE .....	13
<b>2. MATERIEL ET METHODE.....</b>	<b>14</b>
2.1. CONCEPTION D'UN OUTIL PEDAGOGIQUE.....	14
2.1.1. Organisation de l'outil.....	14
2.1.2. Mise en ligne de l'outil.....	17
2.2. RECRUTEMENT ET REPARTITION DES PARTICIPANTS.....	20
2.2.1. Recrutement .....	20
2.2.2. Répartition au sein du groupe formation en présentiel et formation en e-learning	20
2.3. EVALUATION ET CRITERE DE JUGEMENT PRINCIPAL.....	21
2.3.1. Organisation de la journée d'évaluation et de formation .....	21
2.3.2. Critères de jugement.....	23
2.3.3. Analyse statistique.....	25
<b>3. RESULTATS .....</b>	<b>26</b>
3.1. RECRUTEMENT.....	26
3.1.1. Caractéristiques de la population .....	28
3.2. FORMATION E-LEARNING .....	30
3.2.1. Formation théorique .....	30
3.2.2. Mise en pratique .....	32
3.3. COMPARAISON DE L'APPRENTISSAGE EN PRESENTIEL ET EN E-LEARNING.....	36
3.3.1. Score.....	36
3.3.2. Comparaison e-learning et présentiel.....	36
3.4. RESULTATS DE L'EVALUATION PAR LES PARTICIPANTS.....	43
<b>4. DISCUSSION .....</b>	<b>45</b>
4.1. CONCERNANT LA CONCEPTION DE L'OUTIL.....	45
4.2. CONCERNANT LES RESULTATS DE LA FORMATION EN LIGNE.....	46
4.3. CONCERNANT LA CONCEPTION D'UN SCORE DE QUALITE DES COUPES D'ECHOGRAPHIES	47
4.4. COMPARAISON DES GROUPES E-LEARNING ET PRESENTIELS .....	48
4.5. SATISFACTION DES PARTICIPANTS ET VALIDATION DE L'OUTIL EN LIGNE .....	50
<b>5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>52</b>
<b>6. REFERENCES .....</b>	<b>53</b>
<b>7. ANNEXES.....</b>	<b>59</b>
7.1. ANNEXE 1 : QUESTIONNAIRE LORS DU RECRUTEMENT .....	59
7.2. ANNEXE 2 : QUESTIONNAIRE DE SATISFACTION .....	60
7.3. ANNEXE 3 : COURS EN LIGNE .....	62

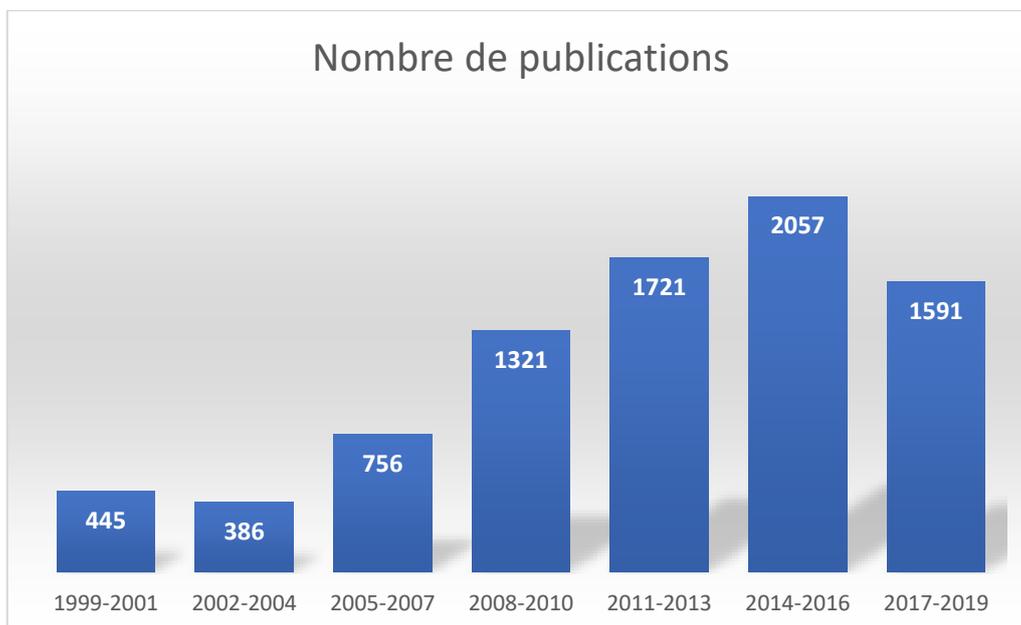
# 1.INTRODUCTION

## 1.1.ECHOGRAPHIE DES NERFS

### 1.1.1.Généralités sur l'échographie des nerfs

L'échographie est un outil diagnostique en plein essor. Cet examen peu coûteux et non irradiant reste largement plus disponible et accessible que les autres imageries telle l'IRM. De plus en plus de spécialités cliniques se forment à sa pratique et l'utilisent comme un véritable prolongement de l'examen clinique avec un rôle clé dans l'aide au diagnostic et à la décision thérapeutique (urgentistes, réanimateurs, anesthésistes, rhumatologues, cardiologues, hépato gastroentérologues, médecins vasculaires, médecins généralistes...).

Depuis plus de 10 ans, le nombre de publications concernant l'échographie neuromusculaire est en augmentation (**figure 1**). Jusqu'à son émergence, seuls l'ENMG et l'IRM permettaient l'étude paraclinique des pathologies nerveuses. Dans certains cas complexes, la biopsie nerveuse est une aide supplémentaire au diagnostic. L'échographie est un examen largement plus accessible que l'IRM, moins douloureux que l'ENMG et moins invasif qu'une biopsie pour étudier les nerfs. La plupart des nerfs des membres sont superficiels et par conséquent accessibles sur l'ensemble de leur parcours à l'échographie. De plus, le développement de sondes échographiques de plus en plus performantes permet une étude de plus en plus précise en termes de résolution d'image et de taille de la cible (1). Aujourd'hui l'échographie est un examen reconnu comme supérieur en terme de résolution spatiale à l'IRM dans cette indication (1). Une de ses limites reste l'étude des nerfs profonds notamment du plexus lumbosacré.



**Figure 1** : nombre de publications sur pubmed répondant à la recherche « ultrasound and nerve » sur les vingt dernières années

## **1.1.2.Place de l'échographie des nerfs**

Cette imagerie présente de nombreux intérêts en pathologie nerveuse.

### **1.1.2.1.Complément diagnostique à l'ENMG**

Tout d'abord, l'échographie des nerfs peut être utilisée comme une aide complémentaire de l'ENMG, préférentiellement pour les pathologies nerveuses focales, lorsque l'ENMG est négatif voir limite ou encore lors d'une difficulté de l'ENMG à localiser l'atteinte (2).

En effet, cet examen permet la visualisation directe du nerf et de son environnement contrairement à l'ENMG. La possibilité de réaliser un examen dynamique en fait également un examen de choix par rapport à l'IRM (3,4), notamment dans les syndromes canaux (5).

Les bénéfices de cette association ont déjà été démontrés dans le cadre des compressions du nerf ulnaire au coude. En effet, elle augmente la sensibilité du diagnostic qui est de 78% pour l'ENMG seul à 98% avec l'échographie (6). La capacité de l'échographie à diagnostiquer un syndrome du canal carpien chez des patients symptomatiques ne présentant pas d'anomalie des vitesses de conduction du nerf médian est également reconnue (7-9).

### **1.1.2.2.Complément technique à l'ENMG**

L'utilisation de l'échographie pour le repérage des petits nerfs sensitifs semble améliorer la fiabilité de l'ENMG par un meilleur placement des électrodes (nerf cutané latéral de la cuisse (10), nerf sural (11,12)). Elle permet de repérer les variations anatomiques qui peuvent compliquer l'interprétation de l'étude des conductions nerveuses (tels qu'un nerf fibulaire accessoire (13) ou encore une anastomose entre le nerf ulnaire et le nerf médian à l'avant-bras (14)).

L'échographie est également un examen performant dans l'étude du retentissement d'une atteinte neurogène. Ainsi sa capacité à diagnostiquer une pathologie musculaire primitive ou secondaire est reconnue (15).

Son utilisation peut également être une aide lors de la phase de détection de l'ENMG pour repérer les muscles pathologiques ou guider l'introduction de l'aiguille (2). L'exemple le plus parlant est celui de l'étude du nerf phrénique et du diaphragme. L'électromyographie du diaphragme peut nécessiter l'introduction d'une aiguille dans son corps musculaire. Dans cette indication, l'apport diagnostique de l'échographie en complément de l'ENMG (16) et son aide lors de l'introduction de l'aiguille sont décrits (17).

Enfin, la capacité de l'échographie à détecter les fasciculations, très recherchées pour établir le diagnostic d'une sclérose latérale amyotrophique est reconnue (18). Sa sensibilité est parfois décrite comme supérieure à celle de l'ENMG (58% contre 48%)(19). L'association échographie/ENMG permet d'augmenter la sensibilité du diagnostic de cette pathologie (20).

### 1.1.2.3. Un outil diagnostique pour les pathologies nerveuses en première intention

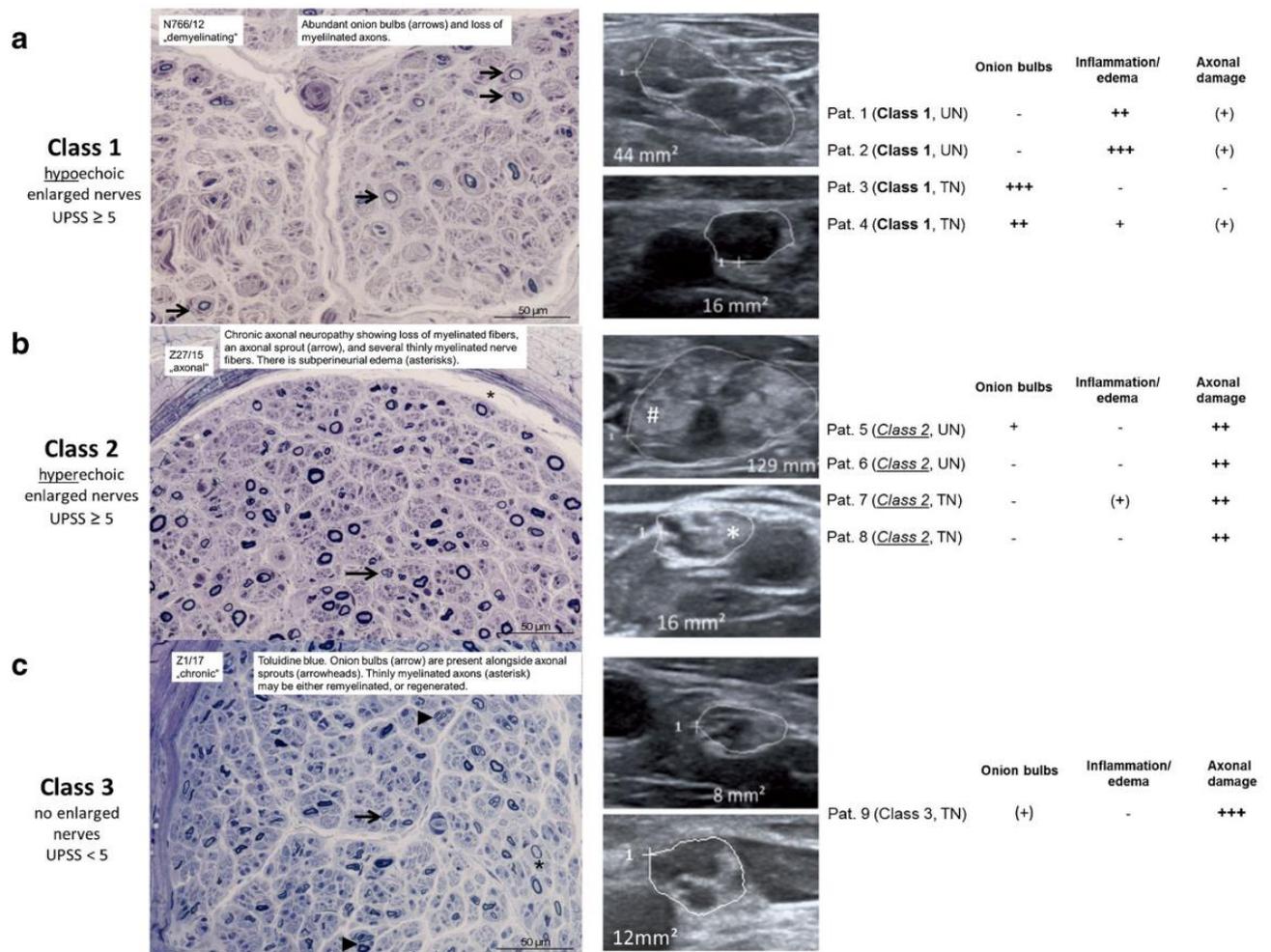
L'échographie peut être également utilisée à but diagnostique en première intention. Dans les traumatismes aigus de nerfs, son rôle dans la décision thérapeutique d'intervenir chirurgicalement a été démontré, de même que sa capacité à identifier et localiser précisément le type de lésion (21).

La principale indication de l'échographie de nerfs en rhumatologie reste le diagnostic et le bilan étiologique des syndromes canaux. Comme nous l'avons vu plus haut l'échographie est un examen ayant la capacité à mettre en évidence les faux négatifs de l'ENMG surtout dans ce type de pathologie. Une modification morphologique du nerf et/ou de son environnement peut être observée avant toutes modifications électro-physiologiques. Nous savons également que la corrélation entre l'aspect échographique du nerf pathologique, la classification de la lésion à l'ENMG et la sévérité clinique a été montrée dans le cadre du syndrome du canal carpien (corrélation avec une augmentation de la section maximale du nerf (22) (23) et avec une hyper vascularisation au doppler (24)).

Le rôle diagnostique de l'échographie et de suivi des neuropathies diffuses acquises (25,26) ou héréditaires (27) a également été très étudié, avec un intérêt particulier pour les neuropathies démyélinisantes (25). Ces dernières ont la particularité d'être à l'origine d'hypertrophie nerveuse focale ou diffuse ou d'une modification de l'aspect fasciculé du nerf. L'étude des neuropathies axonales hormis la sclérose latérale amyotrophique reste moins décrite probablement du fait que la perte axonale est responsable d'une hypotrophie nerveuse (28) moins spectaculaire que les images des neuropathies démyélinisantes.

La capacité de l'échographie à identifier et localiser une anomalie morphologique du nerf peut être utilisée pour différencier certaines neuropathies. C'est le cas pour les neuropathies héréditaires démyélinisantes comme la maladie de Charcot Marie Tooth de type 1A (CMT1A) et les neuropathies d'hypersensibilité à la pression. L'hypertrophie diffuse des nerfs oriente vers un CMT1A tandis qu'une hypertrophie localisée aux zones de compression (canal carpien, col de la fibula, canal cubital...) oriente vers une neuropathie d'hyperpression (27,28).

Des scores diagnostiques ont été créés permettant d'orienter le diagnostic vers une neuropathie aigue ou chronique (BUS, Bochum ultrasound score(29)) ou un type d'atteinte pathologique (score UPSS (30)). Ces scores diagnostiques sont également basés sur l'aspect des fascicules des nerfs (classification de Padua (31)) ou la mesure de la surface de section sur diverses localisations (score UPSS (30)). Un exemple de classification mêlant la classification de Padua (aspect des fascicules) au score UPSS (mesure de section nerveuse) avec une corrélation entre l'histologie et les images échographiques est montrée avec la **figure 2** (32).



**Figure 2 : corrélation entre les images échographiques et l'histologie. Classification de Padua (aspect des fascicules) et UPSS**

Nous savons également que certaines modifications de la morphologie du nerf peuvent être spécifiques d'une neuropathie. Le cas des neuropathies secondaires à la Lèpre est un bon exemple. Une neuropathie associée à un abcès ou un élargissement important et diffus du nerf ulnaire remontant au-dessus de l'épicondyle médial doivent faire évoquer ce diagnostic (33). Une corrélation entre les résultats de l'ENMG, la sévérité du déficit neurologique et l'aspect échographique a été démontrée dans cette pathologie (34).

#### 1.1.2.4. Rôle thérapeutique

L'échographie des nerfs joue également un rôle important en thérapeutique. En rhumatologie, le repérage échographique des nerfs permet la réalisation de gestes infiltratifs sécurisés. Il permet également la réalisation de gestes à visée thérapeutique tels que des infiltrations péri-nerveuses (par exemple dans le cadre d'un syndrome du canal carpien ou d'une compression du nerf ulnaire au coude). Sa principale utilisation thérapeutique reste dans le domaine des anesthésies locorégionales. La supériorité de l'échographie dans l'efficacité du repérage des nerfs rapport au repérage par stimulation électrique a été démontrée dans cette indication. Elle permet une diminution du temps de repérage, une diminution de la dose des produits administrés, une diminution de la douleur ressentie lors de la procédure grâce à une diminution du nombre d'injections (35).

L'amélioration de la résolution spatiale des sondes a permis l'étude de rameaux nerveux de petit diamètre. Ainsi l'échographie est utilisée pour la réalisation de gestes plus invasifs que les infiltrations. Un des exemples les plus parlants est celui du repérage de la branche motrice thénarienne du nerf médian (36,37) qui a permis de développer une technique de libération du nerf médian au canal carpien sous échographie (38). Le repérage peropératoire du nerf sural à l'échographie a permis de sécuriser une technique dite « mini invasive » de réparation du tendon calcanéen (39).

### **1.1.3. Un outil en évolution**

L'échographie est une des techniques d'imagerie qui a le plus évolué ces dix dernières années. Au-delà de l'apparition de sondes de plus en plus performantes en termes de fréquence et de résolution d'image, d'autres évolutions ont émergé.

Récemment, le développement de nouvelles sondes a permis la reconstruction d'image en 3D. Cette technique présente deux principaux intérêts, elle apporte une information supplémentaire grâce à la visualisation du nerf en 3D et permet également de visualiser simultanément le nerf dans un plan axial et longitudinal. Un gain de temps dans l'étude du nerf médian en regard du canal carpien a déjà été démontrée (40).

L'élastométrie, classiquement utilisée pour le diagnostic et le suivi des fibroses hépatiques, est aujourd'hui étudiée dans les pathologies du nerf (chez les sujets sains (41), dans les neuropathies diffuses notamment diabétiques (42,43) ou dans les syndromes canauxiers (44,45)). Elle reste peu utilisée en pratique courante.

Une nouvelle technique dite « fusion échographie imagerie » permet l'affichage d'une échographie temps réel et de projection multi planaires sous un même angle de coupe provenant d'une base de données 3D, (scanner ou IRM). Les images issues de la sonde sont synchronisées avec les images issues d'une reconstruction 3D d'une IRM ou d'un scanner. La synchronisation spatiale est possible grâce à un capteur présent sur la sonde qui transmet ses mouvements. L'apport de cette technique est déjà reconnu en oncologie. Elle permet de favoriser le repérage de lésion tumorale à des fins diagnostiques (46) ou interventionnelles (47). Elle reste très peu étudiée dans l'échographie des nerfs.

L'étude des nerfs à l'échographie est à la frontière de nombreuses spécialités (radiologues, neurologues, anesthésistes, urgentistes, rhumatologues, médecins de la douleur, médecins rééducateurs...) et reste un formidable outil pour approfondir l'apprentissage de l'anatomie (48).

## **1.2.E-LEARNING**

### **1.2.1.E-learning et apprentissage dans le domaine de la santé**

Le développement des nouvelles technologies numériques a permis l'accès à l'information sans contrainte temporelle ou spatiale. Une étude nommée « it's on my iphone (49) » a étudié l'effet de l'utilisation des applications mobiles sur l'apprentissage de la médecine. Plus de 90% des étudiants possédaient un smartphone et plus de 85% d'entre eux en avait une utilisation médicale au moins une fois par jour. Selon une enquête française (Baromètre web & santé Hopscotch Listening Pharma ; 2013), 96% des médecins utilisent internet dans leur pratique clinique dont 25 % plusieurs fois par jour.

Devant cet essor de l'accès rapide à l'information, un nouveau mode d'enseignement s'est développé : le e-learning. L'étudiant peut apprendre de la localisation de son choix et au moment où il le souhaite grâce à une connexion internet.

Cette nouvelle forme d'enseignement est déjà validée par notre système d'éducation. La HAS a publié en 2015 (50) un guide de conception de la formation ouverte à distance pour le monde de la santé ainsi que des moyens de l'évaluer.

La complexité de l'enseignement en médecine vient de la nécessité d'associer des notions fondamentales (connaissances théoriques) en évolution permanente à de la pratique, afin de développer une compétence.

Plusieurs études ont déjà démontré l'efficacité du e-learning dans l'acquisition des connaissances médicales : par exemple dans l'interprétation de l'électrocardiogramme (51) ou des radiographies thoraciques (52) par les étudiants en médecine. La plupart des études comparant l'efficacité du e-learning par rapport à l'enseignement conventionnel ne montrent pas de différence significative, ce, quelle que soit la formation initiale des futurs professionnels de la santé (étudiants en médecine (51), étudiants infirmiers (53), étudiants dentistes (54), étudiants en pharmacie (55)).

L'apprentissage de compétence, tel que des gestes thérapeutiques ou diagnostiques, a également été évalué. C'est ainsi que l'apprentissage de la prise en charge des voies aériennes supérieures d'abord difficile (56) ou encore de gestes échoguidés (57) enseignés à des internes est aussi efficace en e-learning qu'en enseignement conventionnel.

### **1.2.2.E-learning et apprentissage de l'échographie en rhumatologie**

L'échographie ostéoarticulaire fait maintenant partie des compétences de base de tout rhumatologue. Elle a été incluse dans la maquette de formation des internes de rhumatologie.

Avant la réforme de l'internat de 2017, l'apprentissage de l'échographie ostéoarticulaire se faisait grâce à sa mise en pratique par les internes dans les services hospitaliers et par l'acquisition de diplômes interuniversitaires. Ces formations (DIEGO : diplôme interuniversitaire d'échographie diagnostique ostéoarticulaire, ECRIN : diplôme d'échographie ostéoarticulaire sur internet, diplôme rhumatologie interventionnel échographie, REGARDER : diplôme interuniversitaire échographie et de rhumatologie interventionnelle avec guidage radioscopique ou échographique...) ont pour principe commun de proposer une formation en e-learning. Les étudiants ont accès à des cours en ligne leur permettant d'acquérir des connaissances théoriques. Ils sont évalués régulièrement en ligne afin de s'assurer de leur

assiduité et valider l'acquisition des nouvelles connaissances. La mise en pratique se fait par l'envoi d'images d'échographie à un correcteur. Un échange s'organise entre le correcteur et l'étudiant afin d'améliorer la qualité des images. Le plus souvent ces formations sont associées à des séminaires permettant à la fois un apprentissage en e-learning et un apprentissage présentiel. Pendant ces séminaires, les étudiants pratiquent l'échographie et sont encadrés par des échographistes expérimentés. L'évaluation finale porte à la fois sur les connaissances théoriques (examen écrit) et pratiques (réalisation d'une échographie devant des examinateurs). Ces formations sont utilisées en rhumatologie à la fois pour de l'échographie diagnostique et interventionnelle. Leur principal but est de pallier l'hétérogénéité des formations qui restent très centre-dépendantes. Elles permettent également de former des étudiants géographiquement éloignés des centres référents en limitant le nombre de déplacements qui seraient induits par une formation seulement en mode présentiel.

Une fois que ces formations sont validées, le rhumatologue continue à gagner en expérience grâce à sa pratique personnelle et à la participation à des ateliers pratiques organisés régulièrement par des sociétés savantes (SIMS : société d'imagerie musculosquelettique, GEO : groupement des échographistes de l'ouest, SFR : société française de rhumatologie...). La réforme de l'internat de 2017 (58), a eu pour objectif d'intégrer ces formations à la maquette de l'interne. Les services doivent participer à la formation à l'échographie ostéoarticulaire des internes de rhumatologie. Le e-learning occupe toujours une place centrale. Des cours élaborés par le COFER (collège français des enseignants en rhumatologie) sont également mis en ligne. Les étudiants continuent de devoir envoyer régulièrement des images d'échographie afin de valider leur formation sur une plateforme en ligne nationale (SIDES : système informatique distribué d'évaluation en santé).

Afin d'homogénéiser la formation à l'échographie articulaire à l'échelle internationale, l'EULAR (EUropean League Against Rheumatism) a publié des recommandations (59). Celles-ci incluent à la fois les connaissances théoriques et pratiques que l'étudiant doit acquérir, mais également des aspects techniques de la formation (50 à 60% de l'apprentissage doit se faire par de la mise en pratique, heures de cours sont nécessaires, les tuteurs ne doivent pas dépasser le nombre de 6 étudiants à encadrer...). L'apprentissage en e-learning est recommandé en complément de sessions pratiques. Une consolidation des connaissances par une pratique régulière est nécessaire. La plupart des diplômes universitaires s'appuient sur ces recommandations.

L'apprentissage en e-learning est donc bien ancré dans l'apprentissage de l'échographie ostéoarticulaire en rhumatologie. Il a permis à la fois d'homogénéiser au sein des régions la formation des rhumatologues mais également de permettre la formation d'un plus grand nombre d'étudiants simultanément.

Malgré ces recommandations EULAR, il n'existe pas de programme de formation pédagogique standardisé officiel qui permettrait l'accréditation à la pratique de l'échographie ostéoarticulaire chez les rhumatologues. Actuellement, il n'existe pas non plus suffisamment de données sur les résultats des différentes formations et la validité des modèles éducatifs actuels n'a pas été démontrée (60).

Quelques études ont tenté de reprendre des éléments de ces formations dans le domaine de l'échographie ostéoarticulaire notamment l'apprentissage en reproduisant des coupes d'échographie standardisées. L'auto-apprentissage de l'échographie ostéoarticulaire grâce à l'utilisation d'images standardisées de coupes d'échographie disponibles informatiquement a déjà été étudié (61). Il est décrit qu'il est nécessaire, pour un novice échographe, de pratiquer 24 heures (non consécutives) pour obtenir des images d'un niveau acceptable.

L'utilisation d'une formation en ligne avec envoi de coupes standardisées à des correcteurs a déjà été évaluée (62). Les participants ont été évalués à la fois sur des connaissances théoriques et pratiques. Il est conclu que la seule utilisation de ce type d'outil n'est pas suffisante pour la formation à l'échographie ostéoarticulaire. La principale cause d'échec en est l'évaluation pratique. Or seul un faible nombre de participants (30%) a pu envoyer ses images aux correcteurs soit en raison de difficultés de numérisation des images soit en raison de difficultés d'accès à un appareil d'échographie. Depuis 2007, le nombre d'appareils d'échographie dans les services ou cabinets de rhumatologie est en plein essor, l'accès n'est donc plus une limite. Par ailleurs, la modernisation des appareils permet de favoriser les transferts d'image sous forme numérique.

A notre connaissance, aucune étude ne compare à ce jour le système d'apprentissage actuel de l'échographie ostéoarticulaire des rhumatologues en e-learning par à un apprentissage conventionnel en présentiel.

### **1.3.OBJECTIFS DE L'ETUDE**

Au-delà de l'enseignement des bases de l'échographie musculosquelettique, l'apprentissage de l'échographie des nerfs pourrait, en complément, être utile aux rhumatologues pratiquant de manière régulière l'échographie et/ou s'intéressant aux pathologies canalaire. Les neurologues pourraient également se former car nous avons vu l'intérêt du couple ENMG/Echographie dans certaines indications. Enfin, les anesthésistes ont une connaissance des blocs nerveux des gros troncs et seraient intéressés par un complément de formation sur les branches terminales moins souvent étudiées.

Le but de cette étude est de valider l'efficacité d'un outil d'apprentissage en ligne de l'échographie des nerfs des membres inférieurs et de démontrer que l'apprentissage de l'échographie par e-learning (modèle utilisé par les diplômes interuniversitaires) est aussi efficace que l'apprentissage en présentiel (modèle utilisé par les ateliers lors des congrès).

## 2.MATERIEL ET METHODE

### 2.1.CONCEPTION D'UN OUTIL PEDAGOGIQUE

#### 2.1.1.Organisation de l'outil

##### 2.1.1.1.Organisation générale de l'outil

Notre outil d'apprentissage est centré sur les nerfs du membre inférieur plus précisément sur le nerf sciatique et de ses branches terminales. Ceci nous permet d'étudier le parcours de cinq principaux nerfs :

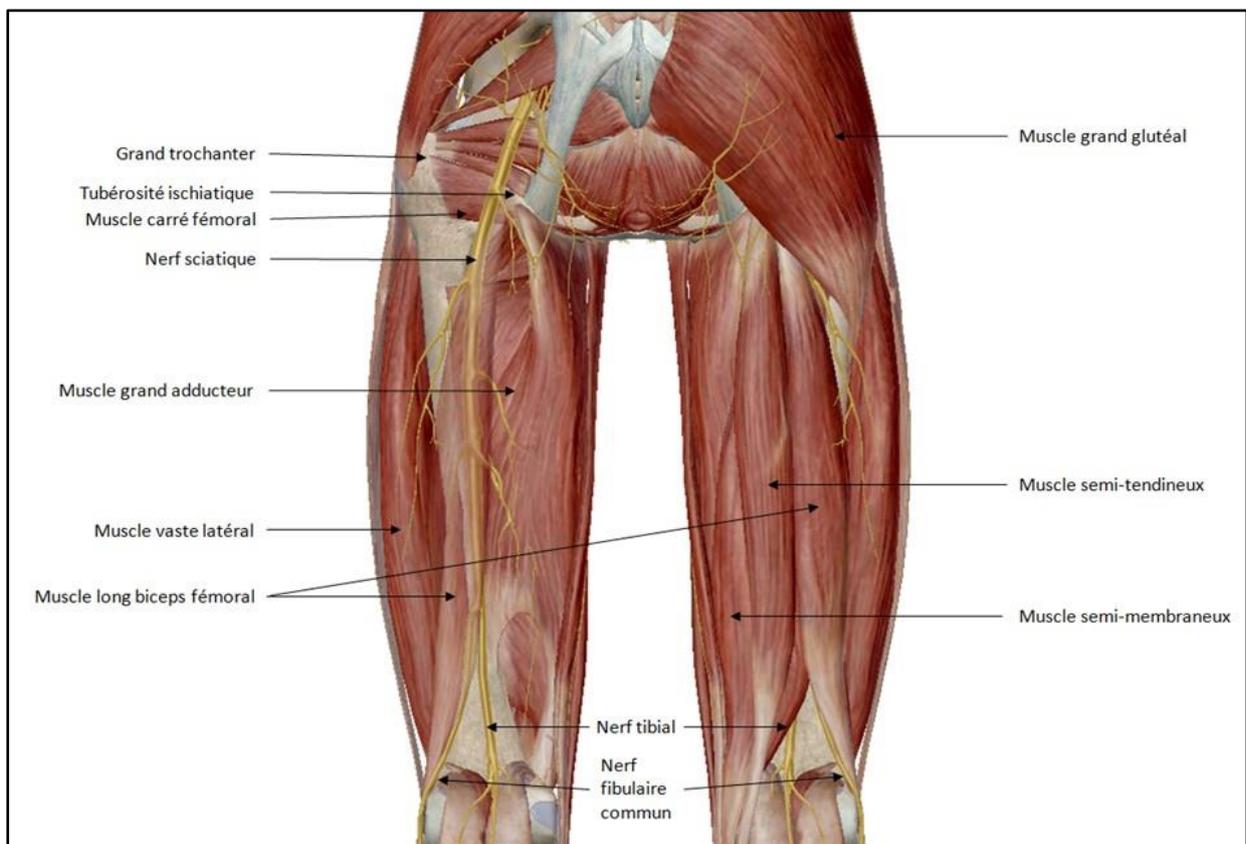
- Nerf sciatique
- Nerf fibulaire commun
- Nerf fibulaire superficiel
- Nerf fibulaire profond
- Et le nerf tibial.

L'outil est constitué de 6 cours. Chaque nerf énuméré ci-dessus fait l'objet d'un cours. Un premier module d'introduction précède les cours. Il rappelle les principes fondamentaux de l'échographie (bases physiques, artefacts et réglages de base) mais aussi les bases de l'écho-anatomie d'un nerf.

##### 2.1.1.2.Organisation de la description d'un nerf / d'un cours

Chaque cours concernant un nerf est constitué de cinq parties. Les cours sont disponibles **annexe 3**.

La *première partie* « généralités » comprend les différents noms du nerf (ancienne nomenclature), son origine, sa région d'étude, des images issues du logiciel Visible Body pour lesquelles des légendes ont été ajoutées (**Figure 3**) et pour finir la liste des coupes à réaliser. Le principe est d'offrir à l'étudiant une vision globale du parcours du nerf avant d'entrer plus en détail dans son anatomie.



**Figure 3 : exemple d'une image légendée de l'ensemble du parcours d'un nerf (nerf sciatique)**

La *deuxième partie* « coupes et anatomie » comprend la description complète du parcours du nerf, de sa partie proximale à distale, et intègre les coupes d'échographie que l'étudiant devra réaliser. Cette description est issue de quatre différents types de sources.

- Des publications issues de Pubmed : elles sont de natures diverses mais principalement issues de dissection de cadavres, de travaux de master d'anatomie de la faculté de Nantes.
- Des publications de sources numériques : Atlas d'anatomie et d'imagerie médicale, formations en e-learning pour les professionnels de santé (<https://www.imaios.com/fr>) et l'application Visible Body.
- Des publications de sources livresques : atlas d'anatomie humaine de Franck Henry Netter, 6ème éditions, Atlas d'anatomie de poche de Werner Platzer, édition médecine-science de Flammarion).

Lorsque les descriptions anatomiques diffèrent entre les sources pour un même nerf, une recherche spécifique est faite sur les variations anatomiques afin de ne décrire que la principale forme anatomique.

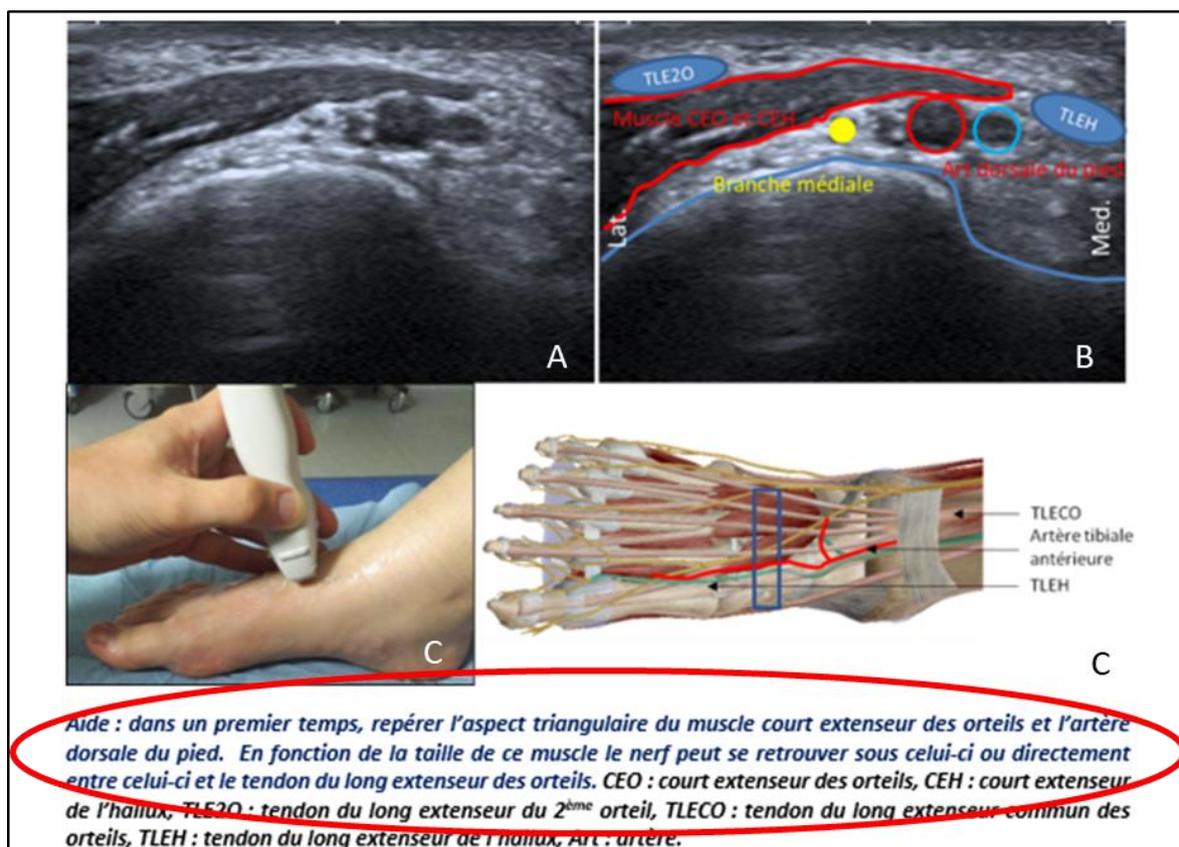
Les images échographiques sont recueillies grâce à un appareil d'échographie Toshiba Aplio 500. Elles sont réalisées sur des sujets sains. Le choix des coupes de référence sélectionnées pour chaque nerf s'appuie sur quatre éléments :

- un repère anatomique facilement identifiable (os, vascularisation, tendons...),
- les données de la littérature dans le domaine de l'échographie des nerfs (notamment dans le domaine de l'anesthésie par bloc nerveux et/ou des mesures de surface recueillies dans des études descriptives chez des volontaires sains),
- notre expérience personnelle dans le repérage des nerfs,
- l'élimination des variations anatomique rares.

Chaque coupe sélectionnée est ensuite légendée grâce au logiciel power point. L'ensemble des coupes et vidéographies est relu par un échographiste expérimenté dans l'étude des nerfs.

Pour chaque coupe, quatre images sont intégrées (**figure 4**) :

- une coupe non légendée (A),
- une coupe légendée (B),
- une image d'anatomie agrandie sur la zone où la sonde est posée (C gauche),
- une photographie de la position de la sonde (C droit). Sous l'ensemble des images, une aide à la réalisation de la coupe est précisée notamment en rappelant le repère anatomique ciblé.



**Figure 4** : exemple de l'organisation des images intégrées à la partie « coupes et anatomie ». A : coupe échographique non légendée. B : coupe échographique légendée. C (à droite) : photographie de la position de la sonde. C (à gauche) : image d'anatomie montrant la position de la sonde avec ajout du repère anatomique ciblé (artère). Zone entourée en rouge : conseils pour la réalisation de la coupe

Une partie « vidéographies » introduit les vidéographies échographiques et la région qu'elles explorent. Ces vidéographies ont pour fonction de visualiser le nerf dans l'ensemble de son parcours ainsi que les différents rapports avec son environnement. Ainsi l'étudiant peut visualiser les différentes régions situées entre les différentes coupes. Elles sont légendées et enregistrées au ralenti grâce au logiciel VSDC Free Video Editor.

Chaque cours est clôturé par une partie « fonction » qui rappelle les fonctions motrices et/ou sensitives du nerf étudié et par un tableau récapitulatif des coupes à réaliser. Ce tableau rappelle le statut de chaque coupe : « référence », « obligatoire » et « optionnel ».

Pour chaque cours, une coupe d'échographie est mise en valeur. Il s'agit de la coupe dite de « référence ». Cette coupe est la plus facile à réaliser, elle est reproductible d'un individu à l'autre et est associée à un repère anatomique simple. Par la technique de l'ascenseur, l'étudiant peut réaliser l'ensemble des coupes du cours en partant de cette coupe.

Devant un parc échographique hétérogène au sein de la rhumatologie et afin de ne pas décourager les étudiants, deux statuts ont été créés pour les coupes. Un statut obligatoire, ces coupes sont à réaliser par l'ensemble des étudiants, il s'agit de coupe de nerf d'un calibre permettant leur identification avec l'ensemble des appareils d'échographies. Les coupes au statut « optionnel » sont réservées aux étudiants souhaitant approfondir leur connaissance dans le repérage échographique des nerfs. Il s'agit de nerfs au calibre moins important avec des variations anatomiques plus importantes. Elles peuvent nécessiter l'utilisation de sondes à plus haute fréquence.

### **2.1.2. Mise en ligne de l'outil**

L'outil a été mis en ligne sur la plateforme pédagogique de la faculté de Nantes « Extradoc ». Il est présenté **annexe 3**. Les étudiants ont pu s'y connecter grâce à des identifiants personnels. Le principe de fonctionnement était similaire à celui du modèle utilisé actuellement pour la formation à l'échographie ostéoarticulaire en rhumatologie.

Avant de débiter le premier cours, une note a expliqué aux étudiants le mode de fonctionnement de l'outil ainsi que les règles pour l'envoi des coupes (légendes, format...).

Chaque semaine un cours a été mis en ligne. L'assiduité des étudiants et les connaissances théoriques ont été validées par une série de QCM hebdomadaire. Chaque QCM était constitué de 4 propositions. La notation a été faite avec un barème selon concordance des réponses. La mise en pratique s'est faite par l'envoi de coupes d'échographie standardisées sur la plateforme. Un exemple de la mise en ligne du premier cours est montré avec les **figures 5 et 6**.

Lors de l'envoi des coupes, un minimum de légendes a été demandé à l'étudiant. Ce dernier a eu pour obligation de montrer le nerf sur la coupe et de la numéroter. Ces coupes ont été corrigées de façon personnalisée. Des conseils à la fois pratiques et techniques ont été donnés pour chacune d'elle. La plateforme Extradoc a permis ainsi un échange entre le correcteur et les étudiants.

Le planning des cours ainsi que les 28 coupes proposées aux étudiants sont récapitulés dans le tableau de la **figure 7**. Le statut de chaque coupe est précisé.

## Présentation de la formation

 Avant de commencer: introduction et méthodologie

## Semaine 1: introduction - nerf fibulaire commun

Trois coupes à déposer cette semaine (**avant le 18/04/2019**):

- coupe axiale du nerf fibulaire commun au niveau de la tête de la fibula (coupe de référence)
- coupe axiale du nerf fibulaire commun et du nerf tibial au niveau de la fosse poplitée
- coupe axiale du nerf fibulaire commun lors de son entrée dans le tunnel fibulaire

 Rappels des bases de l'échographie. Spécificité de l'échographie de nerf.

 Nerf 1: nerf fibulaire commun

 Vidéos: Nerf fibulaire commun

 QCM 1: rappels et nerf fibulaire commun

 dépôt des coupes

**Figure 5 : organisation de la mise en ligne du cours de la première semaine (note d'information du mode de fonctionnement de l'outil, cours d'introduction et cours sur le nerf fibulaire commun)**

Vidéos: Nerf fibulaire commun



**Figure 6 : exemple de l'intégration des vidéographies sur la plateforme « extradoc » pour le cours sur le nerf fibulaire commun**

<b>Semaine 1 Bases de l'échographie de nerf et nerf fibulaire commun</b>		
<b>Numéro de coupe</b>	<b>titres</b>	<b>Statut</b>
Coupe 1	coupe axiale du nerf fibulaire commun et du nerf tibial au niveau de la fosse poplitée	Obligatoire
Coupe 2	coupe axiale de la naissance de sa principale branche collatérale	Optionnel
Coupe 3	coupe axiale du nerf fibulaire commun au niveau de la tête de la fibula (= coupe de référence)	Obligatoire
Coupe 4	coupe axiale du nerf fibulaire commun lors de son entrée dans le tunnel fibulaire	Obligatoire
Coupe 5	coupe axiale au niveau de la division en nerf fibulaire superficiel et nerf fibulaire profond au niveau du col de la fibula	Optionnel
<b>Semaine 2 Nerf sciatique</b>		
Coupe 1	coupe axiale du nerf sciatique à proximité de la tubérosité ischiatique	Optionnel
Coupe 2	coupe axiale du nerf sciatique au niveau des tendons proximaux des ischiojambiers	Obligatoire
Coupe 3	coupe axiale et longitudinale du nerf sciatique au tiers supérieur de la cuisse	Au choix: coupe 3 ou 4
Coupe 4	coupe axiale et longitudinale du nerf sciatique au tiers moyen de la cuisse : rapport avec les muscles ischiojambiers	Au choix: coupe 3 ou 4
Coupe 5	coupe axiale de la division du nerf sciatique en nerf tibial et nerf fibulaire commun (= coupe de référence)	Obligatoire
<b>Semaine 3A Nerf fibulaire profond</b>		
Coupe 1	Coupe axiale de la division du nerf fibulaire commun en nerf fibulaire profond et superficiel	Optionnel
Coupe 2	Coupe axiale et longitudinale du nerf fibulaire profond à la cheville (= coupe de référence),	Obligatoire
Coupe 3	Coupe longitudinale du nerf fibulaire profond au-dessus de l'articulation talocrurale	Optionnel
Coupe 4	Coupe axiale de la division du nerf fibulaire profond en branche latérale et médiale et rapport avec la division de l'artère tibiale antérieure	Obligatoire
Coupe 5	Coupe axiale du passage de la branche médiale sous le muscle court extenseur des orteils	Obligatoire
Coupe 6	Coupe axiale de la division de la branche médiale en nerf digital dorsal latéral de l'hallux (NDDLH) et digital dorsal médial du 2ème orteil (NDDM2O)	Optionnel
<b>Semaine 3B Nerf fibulaire superficiel</b>		
Coupe 1	Coupe axiale de la naissance du nerf fibulaire superficiel par la division du nerf fibulaire commun	Optionnel
Coupe 2	Coupe axiale de l'émergence du nerf fibulaire superficiel au tiers distal de la jambe (= coupe de référence)	Obligatoire
Coupe 3	Coupe axiale du nerf fibulaire superficiel (ou du nerf cutané dorsal médial) à la cheville et rapport avec le tendon du long extenseur commun des orteils	Obligatoire
Coupe 4 et 4 bis	Coupe axiale de la division (basse ou haute) du nerf fibulaire superficiel en nerf cutané dorsal médial et nerf cutané dorsal intermédiaire	Au choix: coupe 4 ou 4 bis
Coupe 5	Coupe axiale de la division du nerf cutané dorsal médial en nerf digital dorsal du hallux et 2ème nerf digital dorsal commun	Optionnel
Coupe 6	Coupe axiale de la division du nerf cutané dorsal intermédiaire en 3ème et 4ème nerf digital dorsal commun	Optionnel
<b>Semaine 4 Nerf tibial</b>		
Coupe 1	Coupe axiale du nerf tibial et du nerf fibulaire commun au niveau de la fosse poplitée	Obligatoire
Coupe 2	Coupe axiale de la naissance d'une collatérale du nerf tibial: le nerf cutané sural médial	Optionnel
Coupe 3	Coupe axiale du nerf tibial au tiers inférieur de la jambe (= coupe de référence)	Obligatoire
Coupe 4	Coupe axiale du nerf tibial au tiers inférieur de la jambe et naissance du nerf calcanéen médial	Optionnel
Coupe 5	Coupe axiale de la division du nerf tibial en nerf plantaire médial et latéral	Obligatoire
Coupe 6	Coupe axiale de la naissance du nerf calcanéen inférieur	Optionnel

**Figure 7 : liste des coupes proposées lors de la formation en ligne, le statut des coupes (référence, obligatoire ou optionnel) est précisé**

## **2.2.RECRUTEMENT ET REPARTITION DES PARTICIPANTS**

### **2.2.1.Recrutement**

Devant un temps de formation court de 4 semaines, nous avons décidé de recruter des participants maîtrisant les bases techniques de l'échographie.

Les encadrants de la formation ont recruté sur 3 plans :

- Connaissances professionnelles,
- Participants au DU DIEGO ou au DU d'échographie interventionnelle,
- Volontaires recrutés grâce à des présentations lors d'ateliers dans le domaine de l'échographie nerveuse lors de congrès ou lors de présentation dans le service de rhumatologie du CHU de Nantes.

Les participants intégrés étaient des échographistes volontaires maîtrisant les bases techniques de l'échographie et présents à la journée d'évaluation. Les volontaires qui ne se sont pas présentés à la journée de formation ont été exclus.

Les participants ont répondu à un questionnaire en ligne de façon systématique (**annexe 1**). Leur âge, leur spécialité, leur expérience de la pratique de l'échographie, leur statut (interne, praticien hospitalier, libéral), leur formation à l'échographie ostéoarticulaire ont été recueillies.

### **2.2.2.Répartition au sein du groupe formation en présentiel et formation en e-learning**

Les participants ont été randomisés dans le groupe présentiel ou le groupe e-learning en stratifiant en fonction de leur expérience en échographie. Cette expérience a été calculée grâce à une estimation du nombre d'échographies réalisées par échographiste (nombre moyen d'échographies par semaine x nombre de semaines par an x nombre d'années de pratique). Dans un premier temps, nous n'avons calculé que la médiane en termes d'expérience pour l'ensemble de la population incluse qui était de 2500 échographies. Ce cut-off a donc été choisi pour classer les étudiants en « expérimenté » ou « non expérimenté » Les participants ont ainsi été randomisés en stratifiant en fonction de ce cut-off.

Devant des absences majoritairement dans le groupe présentiel lors de la journée d'évaluation, et afin de garder des groupes comparables en termes d'expérience au vu du faible effectif dans chaque groupe, nous avons choisi de réaliser un appariement sur l'expérience des participants présents pour l'analyse du critère de jugement principal. Ainsi, 10 participants en e-learning ont été appariés aux 10 étudiants présents du groupe présentiel pour garantir leur comparabilité.

## 2.3. EVALUATION ET CRITERE DE JUGEMENT PRINCIPAL

### 2.3.1. Organisation de la journée d'évaluation et de formation

Afin d'évaluer les deux groupes, une journée de formation pratique à l'échographie de nerfs est organisée le 10 mai 2019 à Nantes.

Pour motiver les participants du groupe e-learning à participer à l'étude et favoriser leur déplacement pour cette évaluation, ces derniers ont bénéficié de la même journée de formation que les participants du groupe présentiel. Celle-ci a été organisée en quatre sessions et en deux temps d'évaluation (**figure 8**).

Les étudiants du groupe présentiel ont bénéficié d'une session supplémentaire d'introduction sur l'échographie du nerf.

Chaque session était l'équivalent d'un cours en e-learning. La durée était d'une heure. Elles ont débuté par une partie théorique d'une durée d'environ 15 min. Il s'agissait d'une présentation permettant un rappel de l'anatomie du nerf, la présentation des coupes à réaliser et des exemples de pathologies. Les deux groupes y ont assisté simultanément. Les 45 minutes restantes ont été attribuées à la pratique. Les groupes ont été installés dans des salles indépendantes avec un encadrant spécifique.

Horaires	Groupe e-learning	Groupe présentiel
9H-10H30	Evaluation e-learning	
10H30-11H	Evaluation e-learning/Introduction	Introduction
11H-12H	Nerf fibulaire commun	Nerf fibulaire commun
12H-13H	Nerf sciatique	Nerf sciatique
13H-14H	Pause déjeuner	Pause déjeuner
14H-15H	Nerf fibulaire superficiel et profond	Nerf fibulaire superficiel et profond
15H-16H	Nerf tibial	Nerf tibial
16H-17H30		Evaluation groupe présentiel

**Figure 8** : déroulement de la journée d'évaluation et de formation. Chaque groupe a évolué dans une salle indépendante hormis lors des cours théoriques de chaque session

Trois appareils d'échographie étaient disponibles dans chaque salle ce qui a permis un nombre moyen de 4 étudiants par appareil. Le groupe le plus important, était constitué de 5 étudiants et faisait partie du groupe e-learning. Une démonstration pratique a été réalisée avant la mise en application des étudiants. Un système de roulement s'est mis en place afin que chaque étudiant puisse à la fois pratiquer l'échographie et servir de modèle.

L'évaluation a été réalisée sur 4 appareils SAMSUNG (de modèle RS85A et HS70A) simultanément. Quatre volontaires ne participant pas à l'étude ont servi de modèle pour les deux sessions d'évaluation. Le principe était simple. Chaque participant s'est vu attribuer un code d'anonymat. Il était constitué d'un chiffre ou d'un nombre suivi d'une ou deux lettres permettant de reconnaître une erreur de frappe lors de la saisie dans les appareils d'échographie. Les participants ont bénéficié de 20 minutes pour réaliser 13 coupes (**figure 9a et 9b**). Parmi celles-ci, 7 étaient des coupes obligatoires (**figure 9a**) et 6 étaient des coupes optionnelles (**figure 9b**). Les coupes obligatoires correspondaient essentiellement aux coupes de référence de l'apprentissage en e-learning. Les coupes optionnelles étaient à réaliser après avoir réalisé les coupes obligatoires. Pour rappel, les coupes optionnelles étaient des coupes plus complexes avec des nerfs de plus petit calibre.

Le groupe e-learning a été convoqué avant l'arrivée du groupe présentiel afin d'être évalué avant la participation à la journée de formation. Le groupe présentiel a été évalué à la fin de la journée de formation.

L'horaire de réalisation des coupes d'échographie était ensuite effacé avant leur analyse afin de permettre l'analyse en aveugle.

numérotation des coupes	identifications des coupes OBLIGATOIRES
Coupe 1	Coupe axiale du nerf sciatique à la cuisse
Coupe 2	Coupe axiale naissance du nerf fibulaire commun et tibial
Coupe 3	Coupe axiale du nerf fibulaire commun à la tête fibulaire
Coupe 4	Coupe axiale du nerf fibulaire profond à la cheville
Coupe 5	Coupe axiale de l'émergence du nerf fibulaire superficiel
Coupe 6	Coupe axiale du nerf tibial autiers inférieur de la jambe
Coupe 7	Coupe axiale de la division du nerf tibial

**Figure 9a** : liste des coupes obligatoires à réaliser lors de l'évaluation.

Numérotation des coupes	identifications des coupes OPTIONNELLES
Coupe 8	Coupe axiale de la division du nerf fibulaire profond
Coupe 9	Coupe axiale de la branche médiale du NFP et du muscle court extenseur des orteils
Coupe 10	Coupe axiale de la division du nerf fibulaire superficiel
Coupe 11	Coupe axiale de la naissance du nerf cutané sural médial à partir du nerf tibial
Coupe 12	Coupe axiale de la naissance du nerf cutané sural latéral ou du rameau fibulaire communicant à partir du NFC
Coupe 13	Coupe axiale de la division de la naissance du nerf calcanéen (médial ou inférieur)

**Figure 9b** : liste des coupes optionnelles à réaliser lors de l'évaluation.

### **2.3.2. Critères de jugement**

Afin d'évaluer la qualité des coupes d'échographie réalisées par les participants lors de cette journée, nous avons créé un score composite (**figure 10**). Il comprend des critères de qualité technique (réglage de l'appareil), de qualité de la visualisation du nerf et de son environnement. Les sept coupes obligatoires ont été notées grâce à ce score. Lorsqu'une coupe n'a pas été réalisée la note de zéro a été attribuée. Le score de chaque coupe a été additionné pour chaque participant et le score moyen par coupe a été calculé. L'ensemble des coupes a été noté en aveugle par deux correcteurs. La moyenne des scores des deux correcteurs a été retenue pour l'analyse.

Points	Etude du nerf (/8)
0	Non interprétable: nerf non visible
2	Mauvaise: nerf difficilement visible: non mesurable (contours difficilement visualisables) et pas de visualisation de la structure interne (fascicules)
4	Moyenne : nerf visible mais contour flou ou pas de visualisation de la structure interne du nerf (fascicules)
6	Bonne : nerf visible et mesurable (contours visualisables) mais visualisation partielle de la structure interne du nerf (fascicules)
8	Excellente: nerf parfaitement visible, mesurable (contours visualisables), visualisation complète de la structure interne du nerf (fascicules)
Points	Qualité des réglages (fréquence, focale, gain, profondeur, champ exploration)/ centrés sur le nerf et permettant de visualiser l'environnement (/2)
0	Mauvaise (au moins 3 mauvais réglages)
1	Moyenne (2 mauvais réglages mauvais)
2	Excellente (un seul mauvais réglage ou aucun)
Points	Région anatomique: niveau de la coupe et visibilité des repères anatomique (/2)
0	Mauvaise: repère anatomique non visible, erreur de région anatomique
1	Moyenne: un des 2 critères mauvais
2	Excellente: pas d'erreur de région anatomique et repère anatomique visible

**Figure 10** : score évaluant la qualité des coupes d'échographie corrigées

Concernant les coupes optionnelles, le score n'a pas été calculé, elles ont été seulement validées par les correcteurs comme réussies ou non.

Trois mois après la formation, nous avons demandé aux participants de répondre à un questionnaire de satisfaction (**annexe 2**). Le questionnaire était anonyme. Afin d'évaluer la rétention des connaissances acquises lors de la formation, il a également été demandé de refaire les coupes exigées lors de la journée de formation sans s'aider d'un quelconque support.

### **2.3.3. Analyse statistique**

Les données quantitatives ont été décrites par leur moyenne (+/- SD) ou médiane (Min-max ; IQR) en fonction de leur distribution. Les données qualitatives ont été décrites en nombre et pourcentage. La comparaison des moyennes de variables continues entre 2 groupes a été effectuée à l'aide d'un test de Mann Withney (test bilatéral). La reproductibilité du score est estimée grâce à l'alpha de Cronbach et le calcul de la corrélation interclasse (ICC). L'analyse des corrélations a été réalisée par le calcul du coefficient r (rho de Spearman).

Les analyses en multigroupe sont réalisées à l'aide d'un test de Kruskal Wallis.

Un seuil de significativité avec p inférieur à 0,05 a été retenu pour l'ensemble des analyses.

### **3.RESULTATS**

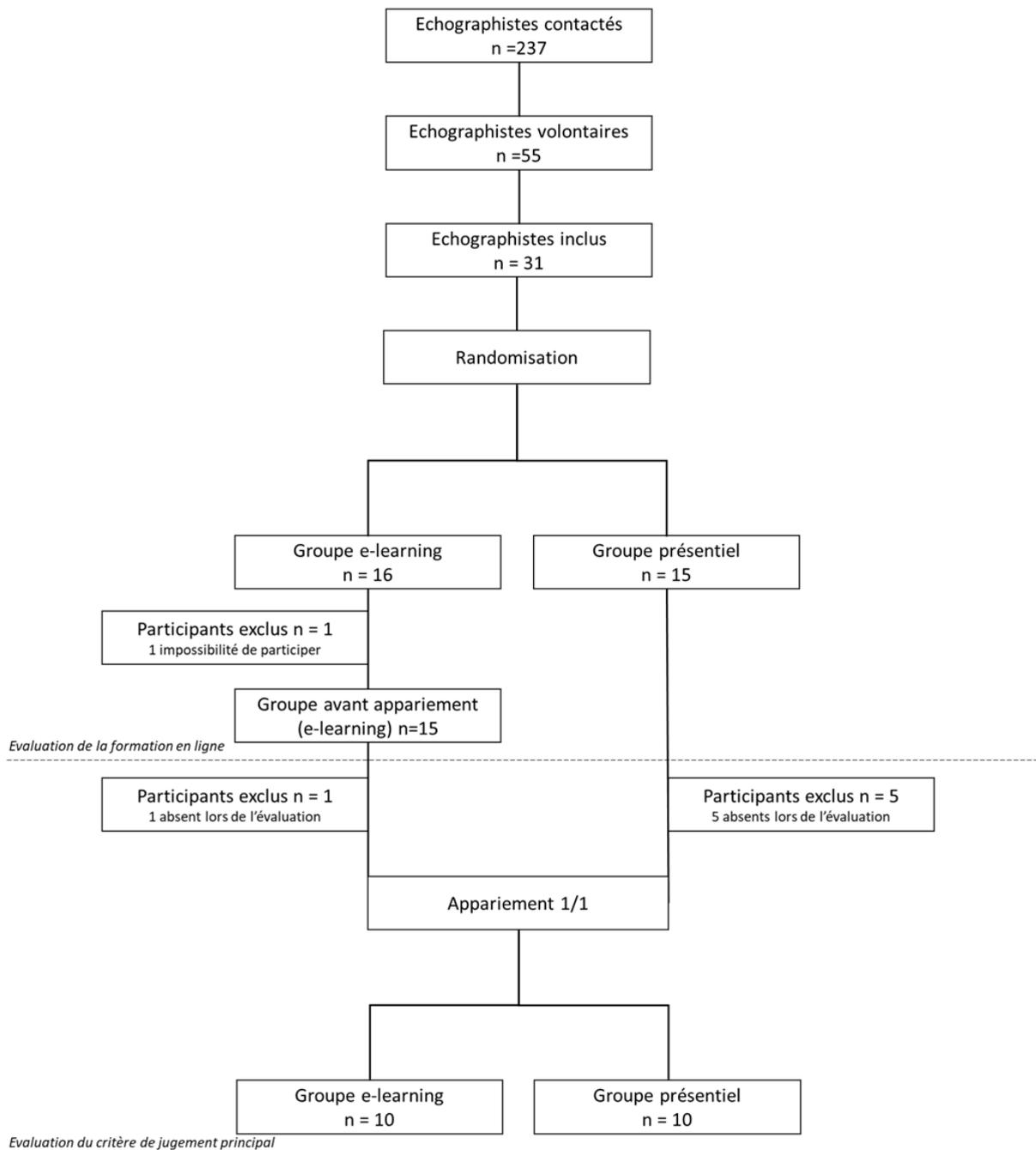
#### **3.1.RECRUTEMENT**

Nous avons contacté 237 échographistes pour participer à l'étude, parmi lesquels 55 ont répondu positivement. Finalement, 31 ont répondu au questionnaire initial (**annexe 1**) et étaient disponibles le jour de la journée d'évaluation.

Après randomisation, 16 ont été inclus dans le groupe e-learning et 15 dans le groupe présentiel initialement.

Deux participants du groupe e-learning ont été exclus avant la procédure d'appariement : un participant s'est retiré de l'étude, il n'a pas participé à la formation en e-learning (absence de connexion à la plateforme) et ne s'est pas présenté à la journée d'évaluation. Le second ne s'est pas présenté à l'évaluation mais a participé à la formation en ligne. Seuls ses résultats lors de la formation en ligne ont été analysés.

5 patients ont été exclus du groupe présentiel en raison de leur absence le jour de la journée d'évaluation. Les données de recrutement sont résumées dans le flow chart suivant (**figure 11**).



**Figure 11** : flow chart montrant la répartition des participants au sein des différents groupes de l'étude

### **3.1.1. Caractéristiques de la population**

Les caractéristiques de la population étudiée sont récapitulées dans le tableau suivant (**figure 12**).

La population avant appariement concerne les participants à la formation en ligne uniquement (**figure 11**). L'ensemble des participants ont été formés à l'échographie par un diplôme interuniversitaire et ont donc une première expérience du e-learning. L'âge moyen était de 36 ans pour une expérience de 3664 échographies réalisées en moyenne par chaque participant.

Après appariement, l'âge moyen des participants était de 36,3 ans pour une expérience moyenne de 3489 échographies. Aucune différence significative n'a été mise en évidence entre les 2 groupes pour l'expérience ( $p=0,93$ ) ni pour l'âge ( $p=0,45$ ). Les groupes sont également comparables concernant les statuts professionnels des médecins et leurs spécialités.

Variables	Avant appariement	Après appariement			
	(analyse de la formation en e-learning)	(comparaison du groupe e-learning et présentiel)			p
	Participants e-learning	groupe e-learning	groupe présentiel	total	
<b>Statuts (n)</b>					
Chefs de clinique	5	2	3	5	-
Internes	3	3	2	5	-
Libéraux	4	3	3	6	-
Praticiens hospitaliers	3	2	2	4	-
Total	15	10	10	20	-
<b>Spécialités (n)</b>					
Rhumatologues	14	9	9	18	-
Médecins du sport	1	1	1	2	-
<b>Formation par DIU (n)</b>	15	10	10	20	-
<b>Age moyen (années)</b>	36,1 +/- 10,4	35,5 +/- 10,1	37 +/- 8,3	36,3 +/- 9,0	0,45
<b>Expérience moyenne (échographies)</b>	3664 +/- 3607	3437 +/- 4118	3541 +/- 4162	3489 +/- 4030	0,93
<b>Présents lors de l'évaluation (n)</b>	14	10	10	20	-

**Figure 12** : caractéristiques de la population étudiée lors de l'évaluation de la formation en ligne (avant appariement) et lors de l'analyse du critère de jugement principal (après appariement). Les données sont exprimées en nombre de participants (n) ou en moyenne +/- écart type. Un test de Mann Whitney a été utilisé pour s'assurer de la comparabilité des deux groupes

### **3.2.FORMATION E-LEARNING**

Notre outil pédagogique permet de proposer la réalisation de 28 coupes dont 15 obligatoires soit 21 nerfs différents en incluant les branches terminales et les coupes optionnelles. L'ensemble de l'outil est disponible en annexe.

La formation e-learning a duré du 11/04/2019 au 09/05/2019. La journée d'évaluation s'est déroulé le 10/05/2019.

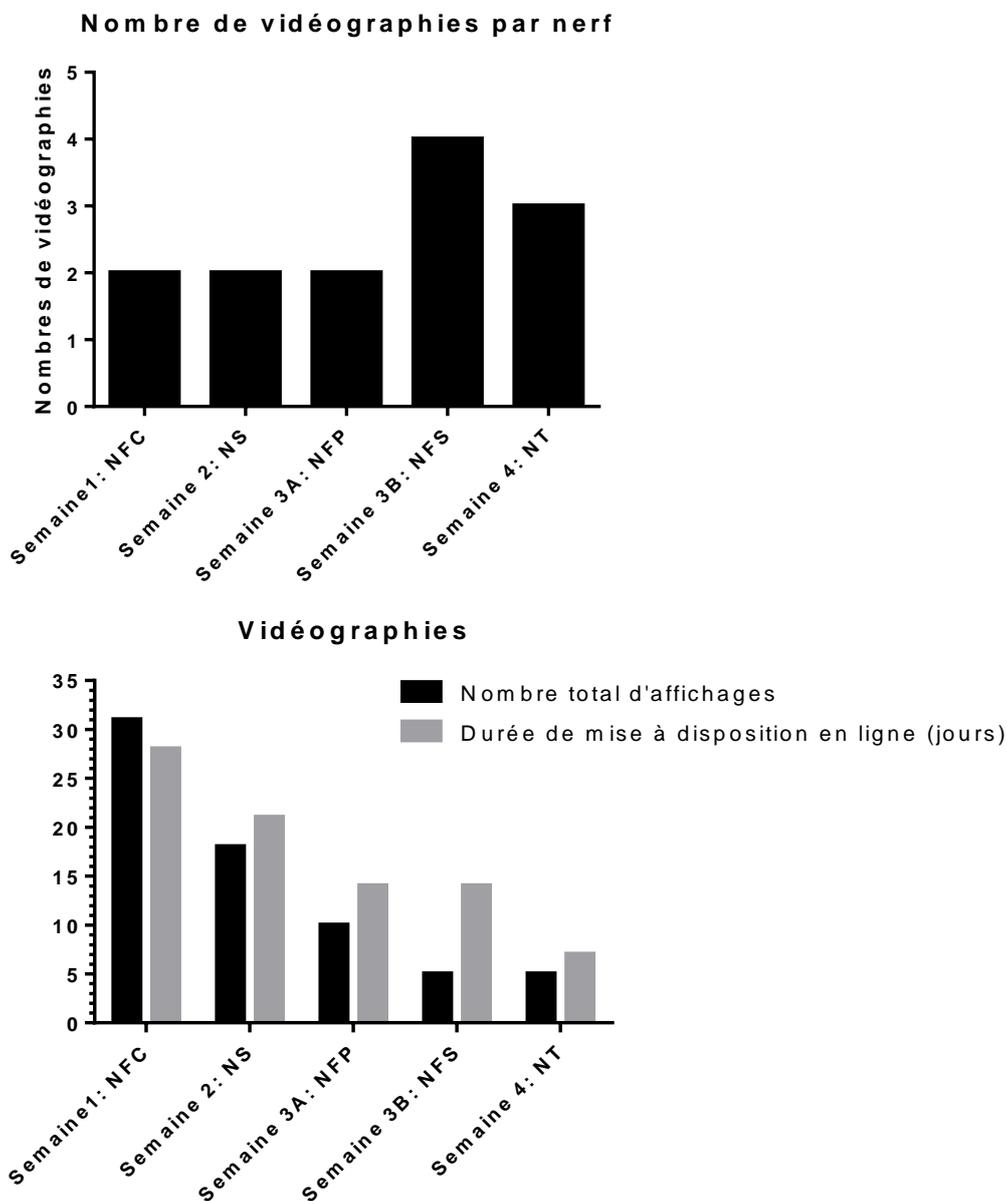
#### **3.2.1.Formation théorique**

La formation théorique en ligne concerne les cours, les vidéographies et les QCM. L'ensemble des participants ont participé à la formation théorique (cours en ligne et QCM). Seul 1 étudiant n'a pas répondu aux QCM de la 4<sup>ème</sup> semaine. Les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant (**figure 13**). Le temps moyen de réponse par semaine et par étudiant était de 7 minutes et 37 secondes pour une note moyenne de 8,7/10.

	<b>Semaine 1</b>	<b>Semaine 2</b>	<b>Semaine 3</b>	<b>Semaine 4</b>	<b>Moyenne</b>
<b>Nombre de participants (/15)</b>	15	15	15	14	14,75
<b>Nombre de QCM</b>	2	1	2	1	1,5
<b>Note moyenne (/10)</b>	8,5 +/- 1,6	8,4 +/- 2,1	9,2 +/- 1,2	8,8 +/- 2,5	8,7 +/- 0,3
<b>Temps moyen (secondes)</b>	440 +/- 367	521 +/- 879	363 +/- 183	503 +/- 533	457 +/-296

**Figure 13 : résultats de l'évaluation théorique en ligne proposée chaque semaine. Les notes et temps sont exprimés en moyenne +/- écart type**

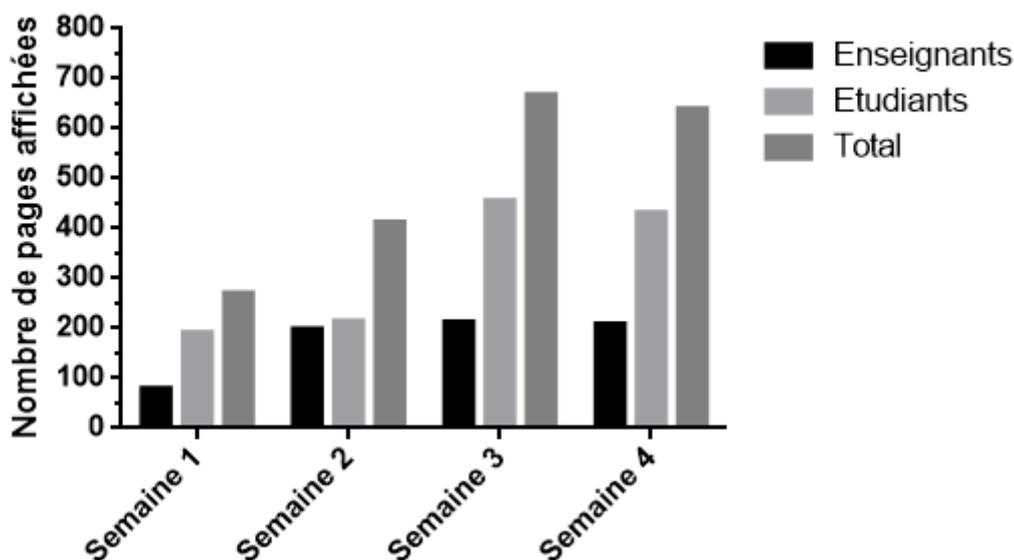
Concernant les vidéographies (**figure 14**), les premières vidéographies mises en lignes concernant le nerf fibulaire commun ont eu le nombre de visionnages le plus élevé avec un total de 31 vues pour 2 vidéographies disponibles. Le nombre de visionnages le plus faible a concerné le nerf tibial avec 3 vidéographies disponibles pour seulement 5 visionnages. Le temps de disponibilité en ligne était le plus faible (7 jours).



**Figure 14** : nombre de vidéographie mises en ligne par nerf et par semaine (en haut). Nombre de visionnage de la page des vidéographies et de la durée de mise à disposition des vidéographies en ligne (en bas). NFC : nerf fibulaire commun, NS : nerf sciatique, NFP : nerf fibulaire profond, NFS : nerf fibulaire superficiel, NT : nerf tibial

La plateforme « extradoc » a permis de quantifier le nombre de pages affichées par semaine. Le nombre de pages affichées maximal était de 667 lors de la troisième semaine (soit 455 pages affichées pour les étudiants et 212 pour les enseignants). Le nombre de pages affichées pour les enseignants a concerné la correction des coupes et la mise en ligne des cours. Ce dernier nombre est resté stable à partir de la deuxième semaine qui marque le début des corrections des coupes. Le nombre de pages affichées par semaine et en fonction du statut des individus (enseignants et étudiants) est récapitulé **figure 15**.

### Nombre de pages affichées en fonction des semaines



**Figure 15** : Nombre de pages affichées pour les enseignants et étudiants en fonction des semaines

#### 3.2.2. Mise en pratique

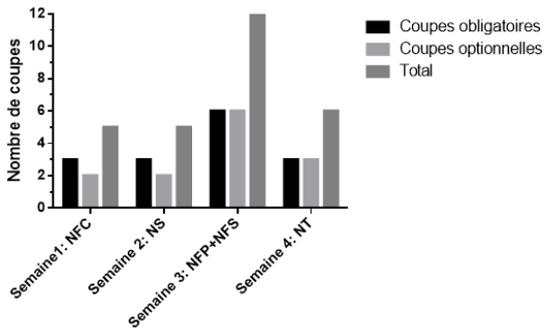
Concernant la mise en pratique, 14 étudiants sur les 15 ont envoyé des coupes toutes les semaines soit 93,3% de participation. Un étudiant n'a pas envoyé de coupe concernant le nerf fibulaire superficiel lors de la troisième semaine. Un autre étudiant n'a pas envoyé de coupes mais a participé à la formation théorique et s'est présenté à la journée d'évaluation. Devant une analyse en intention de traiter, ses résultats ont été analysés. Il fait partie des participants du groupe e-learning qui ont été appariés.

304 coupes ont été corrigées soit une moyenne de 60,8 coupes par semaine. Le nombre minimum de coupes demandées était lors de la semaine 1 (5 coupes dont 3 obligatoires et 2 optionnelles). Cette semaine les connaissances théoriques à acquérir étaient plus importantes que les autres semaines (introduction, rappels des bases de l'échographie). Le nombre maximal de coupes a été demandé lors de la semaine 3 soit 12 coupes dont la moitié optionnelle. Lors de cette semaine, deux nerfs ont été étudiés : le nerf fibulaire profond (3 coupes obligatoires et 3 coupes optionnelles) et le nerf fibulaire superficiel (3 coupes obligatoires et 3 coupes optionnelles).

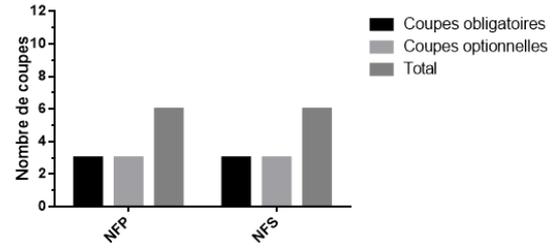
Le nombre de coupes demandées par semaine, ou par nerf est récapitulé **figure 16**. Le nombre de coupes envoyées par rapport au nombre de coupes demandées a été calculé en fonction du statut optionnel ou obligatoire des coupes pour chaque nerf et chaque semaine.

Ces résultats sont présentés pour l'ensemble des participants à la formation en ligne (groupe avant appariement) et pour les participants ayant été sélectionnés par appariement pour assurer la comparabilité avec le groupe présentiel (groupe après appariement). L'ensemble de ces résultats sont présentés par les **figures 16 et 17**. Nous avons observé que 72,4% des coupes demandées ont été envoyées, 91,1% des coupes obligatoires et 47,9% des coupes optionnelles. Le minimum d'envoi concerne la semaine 3 où la difficulté et le nombre de coupes demandées étaient plus importants. Lors de cette semaine, seulement 63,9% des coupes demandées ont été envoyées. Cette diminution du taux d'envoi est en lien avec le taux d'envoi des coupes optionnelles (37,8%), tandis que le taux d'envoi des coupes obligatoires est resté élevé (87,8%). Aucune différence significative en termes de taux d'envoi entre les groupes avant et après appariement n'a été mise en évidence.

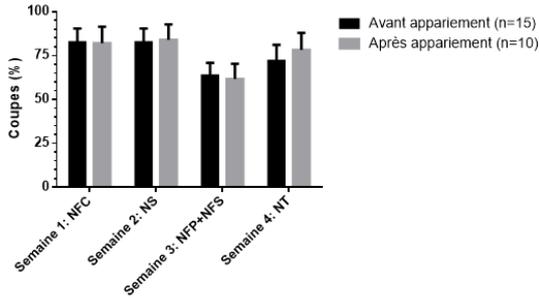
Nombre de coupes à envoyer par semaine



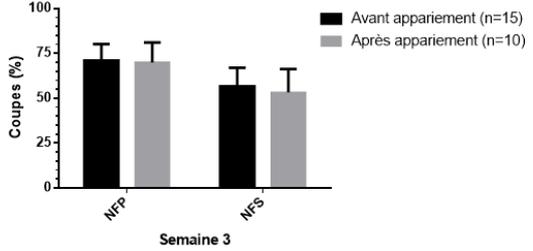
Nombre de coupes à envoyer lors de la semaine 3



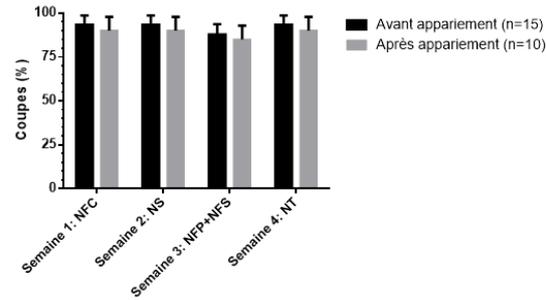
Pourcentage de coupes envoyées



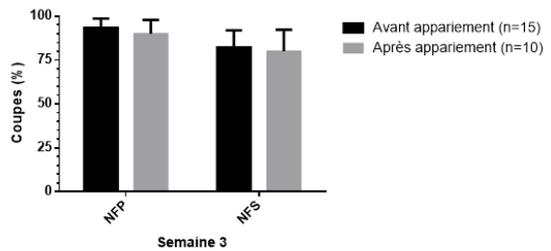
Pourcentage de coupes envoyées



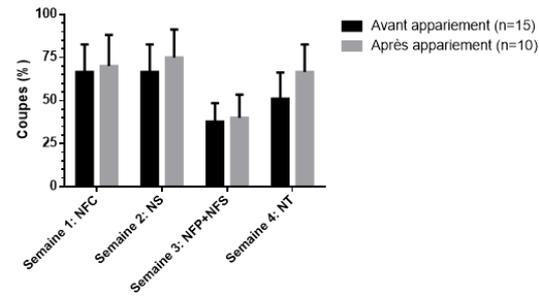
Pourcentage de coupes obligatoires envoyées



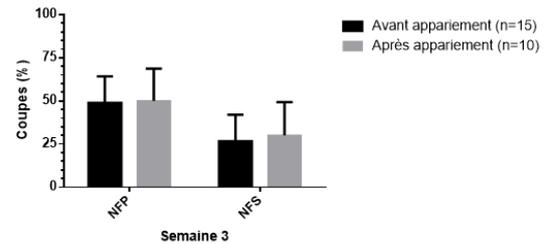
Pourcentage de coupes obligatoires envoyées



Pourcentage de coupes optionnelles envoyées



Pourcentage de coupes optionnelles envoyées



**Figure 16** : Nombre de coupes envoyées par rapport au nombre de coupes demandées en fonction de leur statut (obligatoire ou optionnelle) par nerf et par semaine. Aucune différence significative n'a été mise en évidence entre le groupe avant et après appariement. NFC : nerf fibulaire commun, NS : nerf sciatique, NFP : nerf fibulaire profond, NFS : nerf fibulaire superficiel, NT : nerf tibial

Variables	Semaine 1: NS		Semaine 2: NFC		Semaine 3A: NFP		Semaine 3B: NFS		Semaine 4: NT		Total	
	Avant appariement	Après appariement										
Nombre coupes	62	41	62	42	64	42	51	32	65	47	304	204
Nombre moyen de coupes par participants	4,1 +/- 1,4	4,1 +/- 1,6	4,1 +/- 1,4	4,2 +/- 1,6	4,3 +/- 1,6	4,2 +/- 1,8	3,4 +/- 1,8	3,2 +/- 1,9	4,3 +/- 1,8	4,7 +/- 1,9	4,1 +/- 1,6	4,1 +/- 1,8
Coupes envoyées (%; IC95%)												
Total	82,7 [72,2-90,4]	82,0 [68,6-91,4]	82,7 [72,2-90,4]	84,0 [70,9-92,8]	71,1 [60,6-80,2]	70,0 [56,8-81,2]	56,7 [45,8-67,1]	53,3 [40,0-66,3]	72,2 [61,8-81,1]	78,3 [65,8-87,9]	72,4 [67,8-76,6]	72,9 [67,2-78,0]
Obligatoires	93,3 [81,7-98,6]	90,0 [73,5-97,9]	93,3 [81,7-98,6]	90,0 [73,5-97,9]	93,3 [81,7-98,6]	90,0 [73,5-97,9]	82,2 [67,9-92,0]	80,0 [61,4-92,3]	93,3 [81,7-98,6]	90,0 [73,5-97,9]	91,1 [86,6-94,5]	88,0 [81,69-92,7]
Optionnelles	66,7 [47,2-82,7]	70,0 [45,7-88,1]	66,7 [47,2-82,7]	75 [50,9-91,3]	48,9 [33,7-64,2]	50,0 [31,3-68,7]	26,7 [14,6-41,9]	30 [14,7-49,4]	51,1 [35,8-66,3]	66,7 [47,2-82,7]	49,7 [42,5-57,0]	56,2 [47,2-64,8]

**Figure 17** : tableau récapitulatif des coupes envoyées et corrigées lors de la formation en ligne en fonction des nerfs et du groupe avant/après appariements. Le pourcentage de coupe correspond au nombre de coupes envoyées par les participants par rapport au nombre de coupes demandées. Les nombre de coupes est exprimées en moyenne et écart type. Les coupes envoyées sont exprimées en pourcentage (rapport du nombre de coupes envoyées sur le nombre de coupes demandées) et en intervalles de confiance à 95%. NFC : nerf fibulaire commun, NS : nerf sciatique, NFP : nerf fibulaire profond, NFS : nerf fibulaire superficiel, NT : nerf tibial

### 3.3.COMPARAISON DE L'APPRENTISSAGE EN PRESENTIEL ET EN E-LEARNING

#### 3.3.1.Score

Nous avons créé un score spécifique pour l'évaluation de la qualité des coupes d'échographie dans le cadre de notre formation. Afin de vérifier la fiabilité des corrections des correcteurs, un alpha de Cronbach a été calculé ainsi qu'un coefficient de corrélation interclasse (ICC).

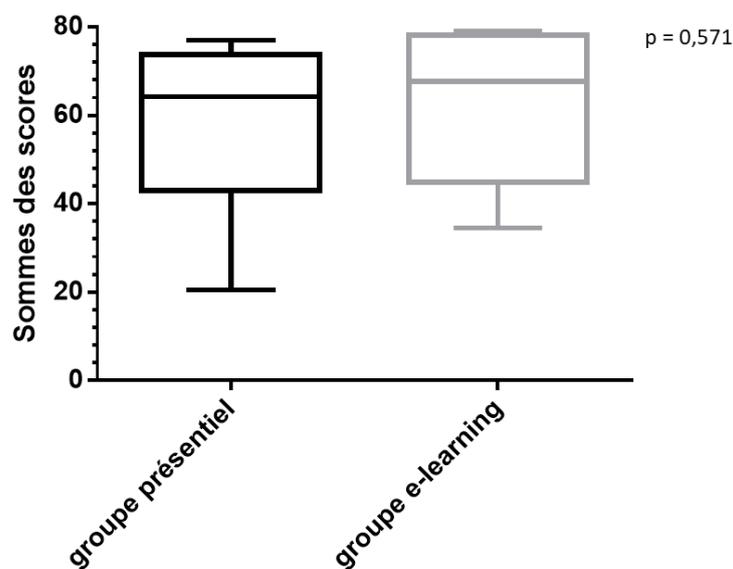
L'alpha de Cronbach était de 0,991, l'ICC pour une mesure unique (fiabilité d'un seul correcteur) était de 0,968 (IC95% [0,795 - 0,990]) et pour une mesure moyenne (fiabilité des deux correcteurs) à 0,984 (IC95% [0,886 - 0,995]). Ces résultats étaient en faveur d'une excellente reproductibilité du score.

#### 3.3.2.Comparaison e-learning et présentiel

##### 3.3.2.1.Evaluation du critère de jugement principal (score de qualité)

La moyenne obtenue par le groupe présentiel était de 57,65 (IC95% [43,72-71,58]). La moyenne obtenue par le groupe e-learning est de 61,20 (IC95% [48,91-73,49]). Les résultats sont récapitulés **figure 18**. Aucune différence significative n'a été mise en évidence sur le score total des coupes obligatoires entre les 2 groupes ( $p = 0,571$ ).

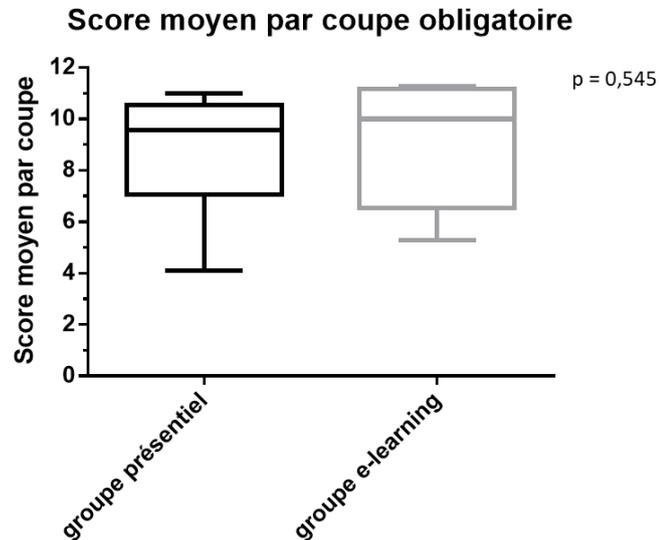
#### **Sommes des scores des coupes obligatoires**



	Sommes des score des coupes obligatoires	
	Groupe présentiel	Groupe e-learning
Moyenne et IC95%	57,65 [43,72-71,58]	61,20 [48,91-73,49]
Médiane	64,25	67,75
Intervalle interquartile	31,00	33,00
Minimum-maximum	21-77	35-79

**Figure 18** : comparaison des sommes des scores des coupes obligatoires entre les groupes. Le graphique présente les valeurs minimales/maximales, les médianes, les premiers et troisièmes quartiles

La moyenne obtenue par le groupe présentiel était de 8,81 (IC95% [7,22-10,39]). La moyenne obtenue par le groupe e-learning était de 9,10 (IC95% [7,41-10,79]). Les résultats sont récapitulés **figure 19**. Aucune différence significative n'a été mise en évidence sur le score moyen des coupes obligatoires entre les 2 groupes ( $p = 0,545$ ).

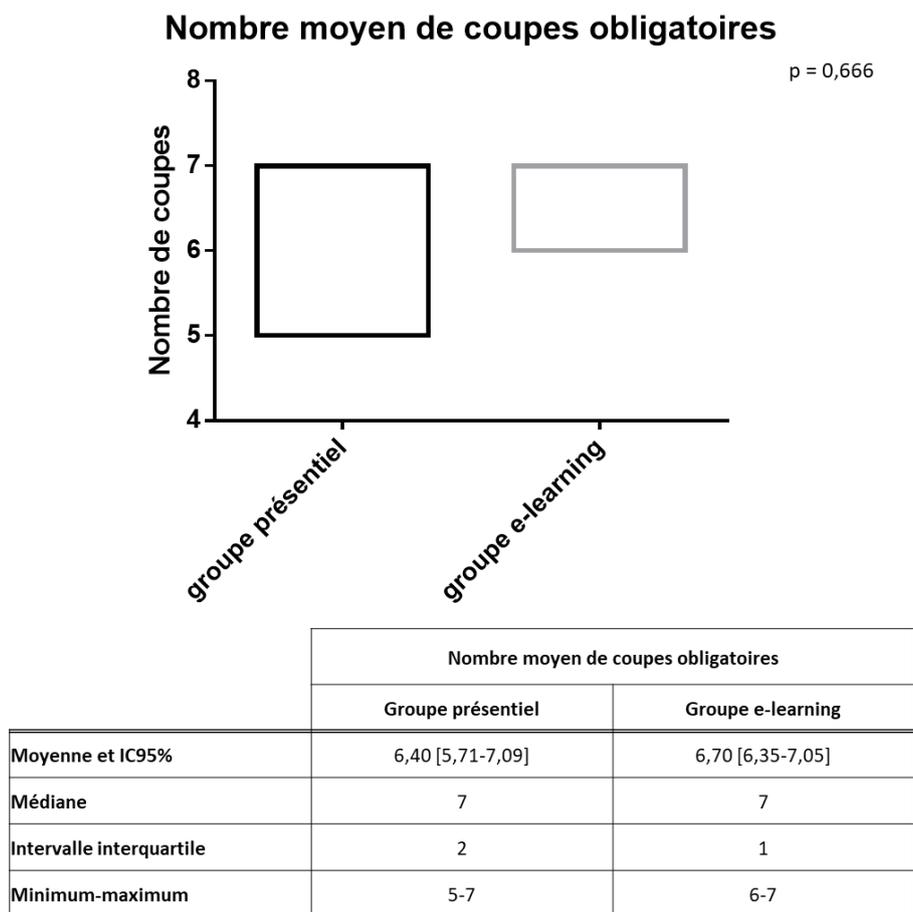


	Score moyen par coupe obligatoire	
	Groupe présentiel (n = 10)	Groupe e-learning (n = 10)
Moyenne et IC95%	8,81 [7,22-10,39]	9,10 [7,41-10,79]
Médiane	9,56	10,00
Intervalle interquartile	3,48	4,63
Minimum-maximum	4,10-11,00	5,29-11,29

**Figure 19** : comparaison du score moyen par coupe obligatoire entre les groupes. Le graphique présente les valeurs minimales/maximales, les médianes, les premiers et troisièmes quartiles

### 3.3.2.2. Evaluation des critères de jugement secondaires (nombre de coupes)

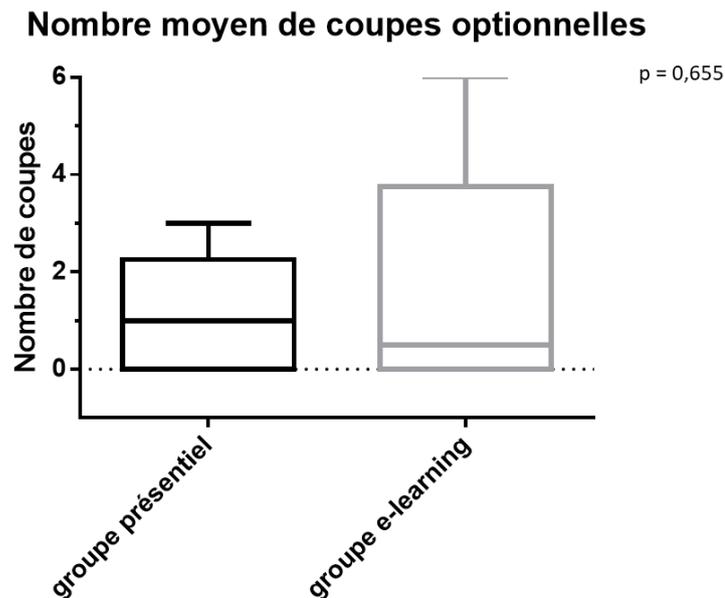
Le nombre moyen de coupes obligatoires réalisées par le groupe présentiel était de 6,40 (IC95% [5,71-7,09]). Le nombre moyen de coupes obligatoires réalisées par le groupe e-learning était de 6,70 (IC95% [6,35-7,05]). Les résultats sont récapitulés **figure 20**. Aucune différence significative n'a été mise en évidence sur le score moyen des coupes obligatoires entre les 2 groupes ( $p = 0,666$ ).



**Figure 20** : comparaison du nombre moyen de coupes obligatoires réalisées par chacun des groupes. Le graphique présente les valeurs minimales/maximales, les médianes, les premiers et troisièmes quartiles

Le nombre moyen de coupes optionnelles réalisées par le groupe présentiel était de 1,20 (IC95% [0,26-2,14]). Le nombre moyen de coupes optionnelles réalisées par le groupe e-learning était de 1,90 (IC95% [0,13-3,67]). Les résultats sont récapitulés **figure 21**.

Aucune différence significative n'a été mise en évidence sur le score moyen des coupes obligatoires entre les 2 groupes ( $p = 0,655$ ).



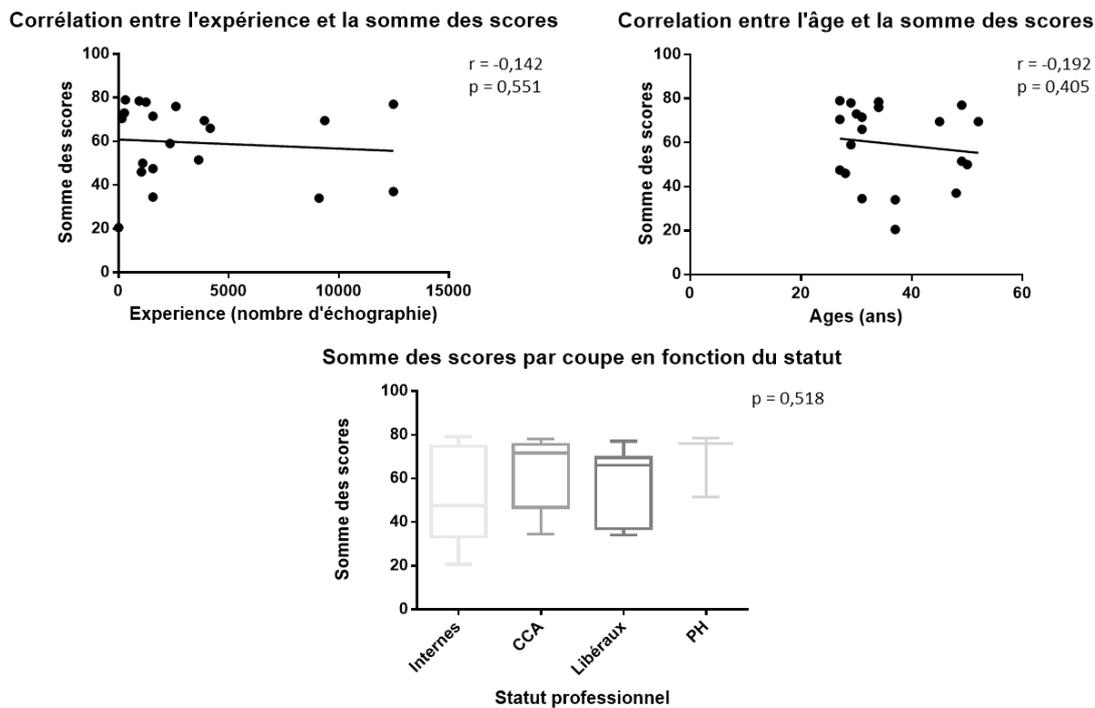
	Nombre moyen de coupes optionnelles	
	Groupe présentiel (n = 10)	Groupe e-learning (n = 10)
Moyenne et IC95%	1,20 [0,26-2,14]	1,90 [0,13-3,67]
Médiane	1	0,50
Intervalle interquartile	2	4
Minimum-maximum	0-3	0-6

**Figure 21** : comparaison du nombre moyen de coupes optionnelles réalisées par chacun des groupes. Le graphique présente les valeurs minimales/maximales, les médianes, les premiers et troisièmes quartiles

### 3.3.2.3. Facteurs associés à la qualité des coupes

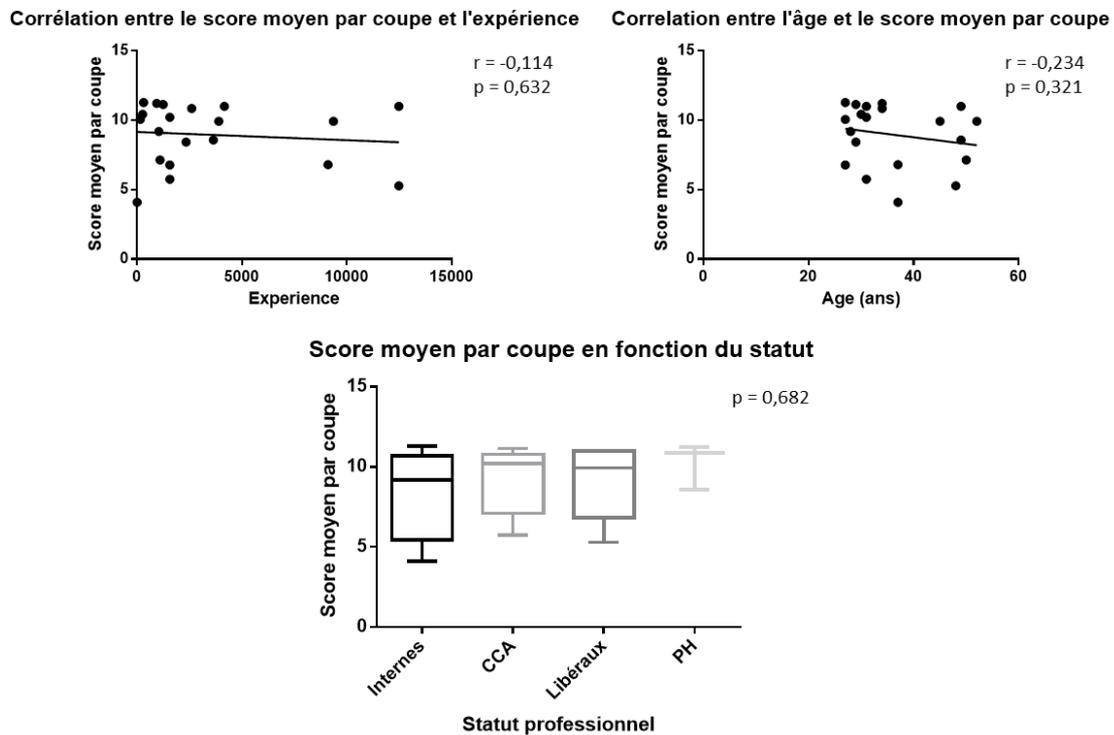
Devant une absence de différence entre les 2 groupes, nous avons étudié des caractéristiques associées à la qualité des coupes étudiées dans l'ensemble de la population (n = 20).

Concernant le score total (**figure 22**), aucune corrélation n'a été mise en évidence avec l'âge ( $r = -0,192$ ,  $p = 0,405$ ), l'expérience ( $r = -0,142$ ,  $p = 0,551$ ), et le statut professionnel ( $p = 0,518$ ).



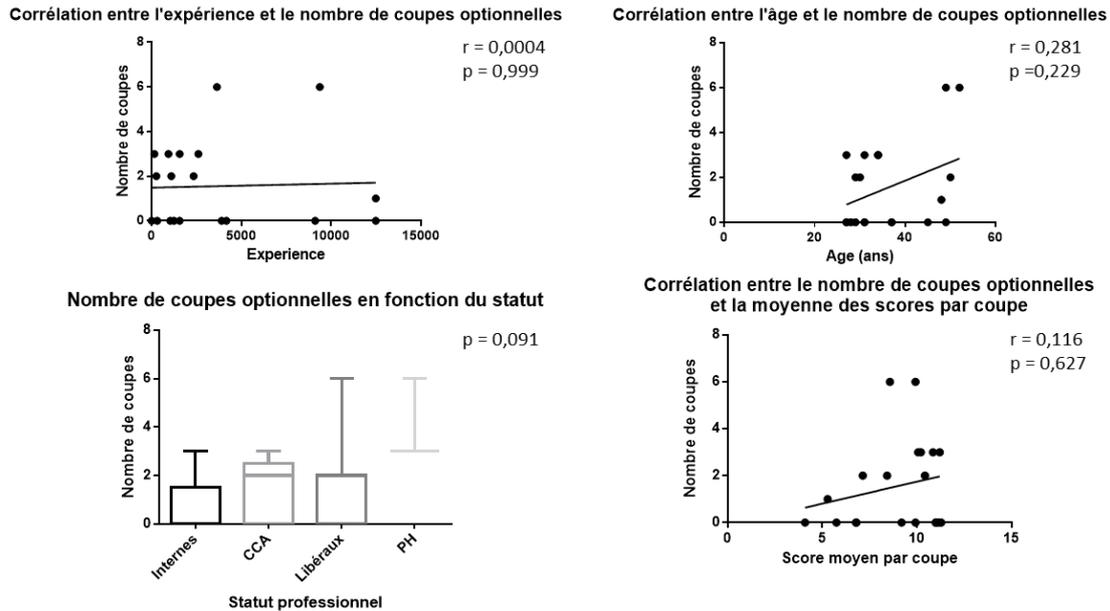
**Figure 22** : Les 2 graphiques du haut représentent la corrélation entre l'expérience (à gauche) ou l'âge (à droite) et la somme des scores obtenus pour chaque coupe par participant. Le graphique du bas compare la somme des scores en fonction du statut professionnel. Les données de ce dernier sont exprimées en valeurs minimales/maximales, médianes, premiers et troisièmes quartiles. CCA : chef de clinique/assistant chef de clinique, PH : praticien hospitalier.

Concernant le score moyen par coupe (**figure 23**), aucune corrélation n'a été mise en évidence avec l'âge ( $r = -0,234$ ,  $p = 0,321$ ), l'expérience ( $r = -0,114$ ,  $p = 0,632$ ), et le statut professionnel ( $p = 0,682$ ).



**Figure 23** : Les 2 graphiques du haut représentent la corrélation entre l'expérience (à gauche) ou l'âge (à droite) et le score moyen par coupe. Le graphique du bas compare la somme des scores en fonction du statut professionnel. Les données de ce dernier sont exprimées en valeurs minimales/maximales, médianes, premiers et troisièmes quartiles. CCA : chef de clinique/assistant chef de clinique, PH : praticien hospitalier

Concernant le nombre de coupes optionnelles réalisées (**figure 24**), aucune corrélation n'a été mise en évidence avec l'âge ( $r = 0,281$ ,  $p = 0,229$ ), l'expérience ( $r = 0,0004$ ,  $p = 0,999$ ), la qualité des coupes obligatoires (score moyen par coupe ( $r = 0,116$ ,  $p = 0,627$ ) et le statut professionnel ( $p = 0,091$ ).



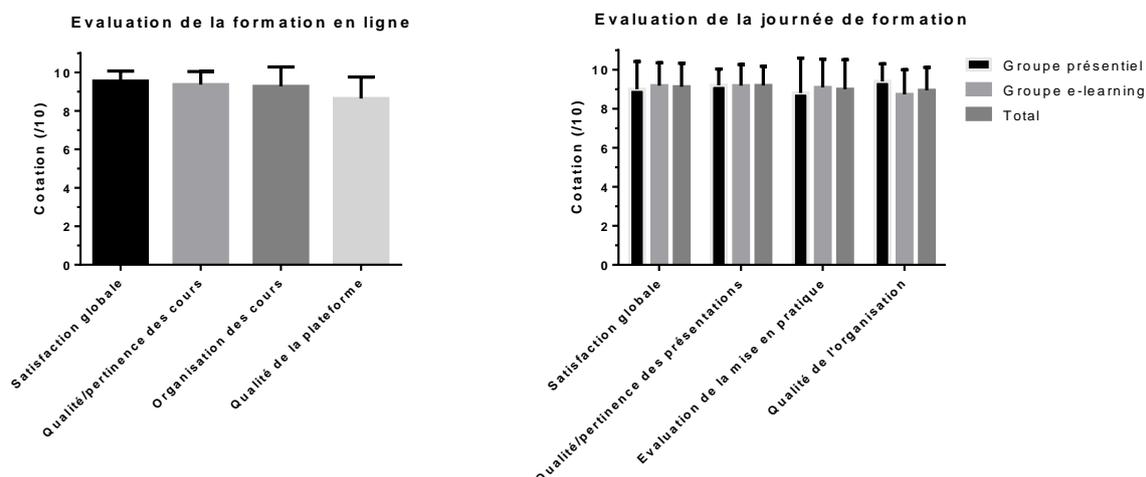
**Figure 24** : Les 2 graphiques du haut représentent la corrélation entre l'expérience (à gauche) ou l'âge (à droite) et le nombre de coupes optionnelles réalisées par les participants. La corrélation entre la qualité des coupes obligatoires et le nombre de coupes optionnelles est représentée par le graphique en bas à droite. Le graphique en bas à gauche compare le nombre de coupes optionnelles réalisées par les participants en fonction de leur statut professionnel. Les données de ce dernier sont exprimées en valeurs minimales/maximales, médianes, premiers et troisièmes quartiles. CCA : chef de clinique/assistant chef de clinique, PH : praticien hospitalier

### 3.4. RESULTATS DE L'ÉVALUATION PAR LES PARTICIPANTS

Un questionnaire de satisfaction a été envoyé à 3 mois de la journée de formation. Onze participants du groupe e-learning (78,6%) ont répondu et 8 du groupe présentiel (80%) soit 79,2% de réponses.

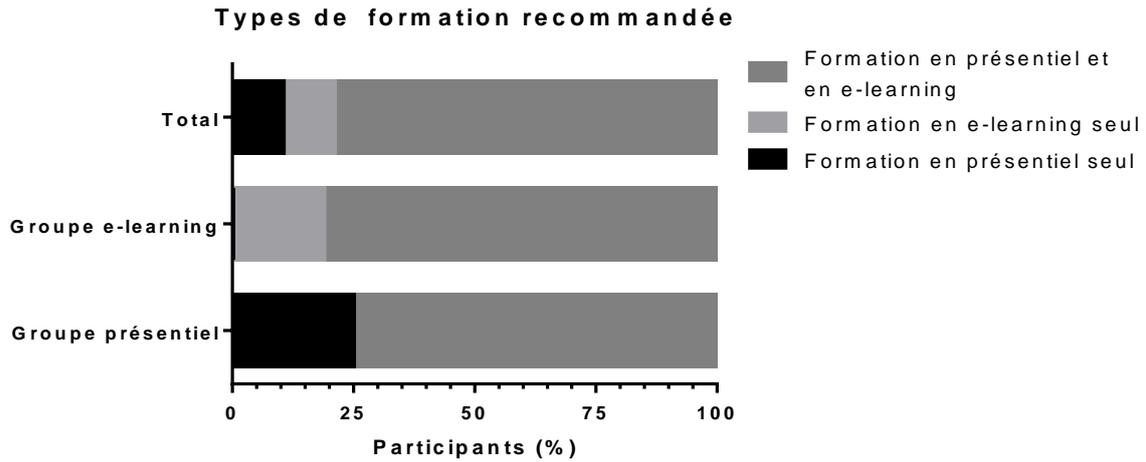
L'évaluation de la formation en ligne retrouvait une moyenne pour la satisfaction globale à 9,5/10, pour la qualité et la pertinence des cours à 9,38/10, pour l'organisation à 9,5/10, et la qualité de la plateforme à 8,5/10. Les résultats sont récapitulés **figure 25**.

Pour rappel, les participants du groupe e-learning ont bénéficié d'une journée de formation identique à celle du groupe présentiel, à la suite de leur évaluation. L'évaluation de la journée de formation retrouvait une moyenne pour la satisfaction globale à 9/10, pour la qualité et la pertinence des présentations à 9,13/10, pour l'évaluation de la mise en pratique à 8,94/10, et pour l'organisation 8,81/10. Les résultats sont récapitulés **figure 25**. La moyenne de la satisfaction globale était à 8,75/10 pour le groupe présentiel et à 9,18/10 pour le groupe e-learning.



**Figure 25** : Evaluation de la formation en ligne (à gauche) par le groupe e-learning et évaluation de la journée de formation par le groupe e-learning et présentiel (à droite). Les données sont représentées sous forme de moyennes et leurs écarts-types

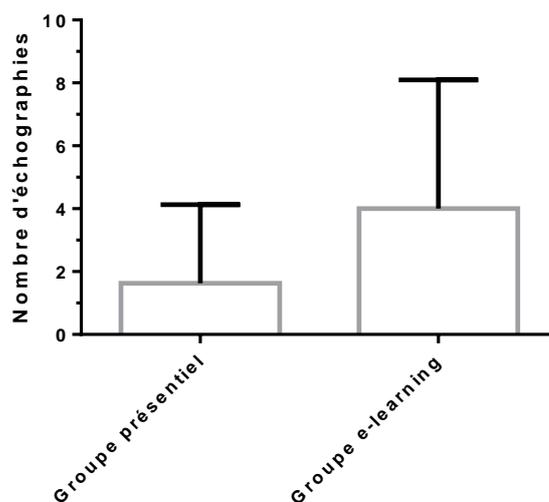
L'ensemble des participants ont recommandé la formation. L'ensemble des participants ont souhaité une formation à l'échographie des nerfs du plexus brachiale, des membres supérieurs et à la pathologie nerveuse. Deux participants du groupe e-learning ont recommandé une formation en e-learning seul. Deux participants du groupe présentiel ont recommandé une formation en présentiel seul. Le reste des participants ont recommandé une formation combinée en présentiel et e-learning. Les résultats sont récapitulés **figure 26**.



**Figure 26 : Type de formation recommandée en pourcentage de participants en fonction du groupe**

Concernant la pratique d'échographie de nerf (**figure 27**), 68,4% des participants ont réalisé au moins une échographie de nerf dans les 3 mois après la formation. Seulement trois participants (37,5%) du groupe présentiel ont réalisés des échographies de nerfs Dans le groupe e-learning ; 11 participants (90%) ont réalisé au moins une échographie de nerf à 3 mois. La moyenne d'échographies réalisées par échographe était plus élevée dans le groupe e-learning. En moyennes, 4 échographies ont été réalisé par échographistes dans le groupe e-learning pour une moyenne de 1,63 échographies dans le groupe présentiel. Aucune différence statistique n'a été mise en évidence ( $p = 0,107$ ) Nous rappelons que pour cette analyse nous avons comparé une formation mixte e-learning/présentiel (pour le groupe e-learning qui a bénéficié de la journée de formation) à une formation en présentiel seule.

**Nombre moyen d'échographie de nerfs réalisées à 3 mois**



**Figure 27 : Nombre d'échographie réalisée à 3 mois de la formation pour chaque groupe. Les données sont représentées sous forme de moyennes et leurs écarts-types**

## **4.DISCUSSION**

### **4.1.CONCERNANT LA CONCEPTION DE L'OUTIL**

L'échographie de l'appareil locomoteur est devenue un outil incontournable en rhumatologie. Le développement de l'échographie des nerfs périphériques est particulièrement intéressant pour le rhumatologue pratiquant déjà l'échographie. En effet, son apprentissage lui permettait une aide diagnostique et thérapeutique supplémentaire notamment dans la prise en charge des syndromes canaux. De même, les neurologues sont demandeurs de se former à cette technique nouvelle.

Cette thèse nous a permis d'élaborer un outil pédagogique ayant pour objectif un enseignement de l'échographie des nerfs en e-learning. Le choix de décrire l'anatomie du nerf sciatique de la région fessière jusqu'à ses branches terminales nous a permis d'obtenir une collection de coupes échographiques portant sur vingt-un nerfs. L'ensemble des régions anatomiques du membre inférieur est décrit (fesses, cuisses, genoux, chevilles et pieds). Tous les types de nerfs sont représentés dans ce travail : nerfs superficiels et profonds, nerfs sensitifs et moteurs.

Malgré l'absence de consensus pour la formation à l'échographie ostéoarticulaire, nous nous sommes inspirés du modèle proposé par les recommandations EULAR (59) et les DU d'échographies actuels. Ces modèles sont actuellement ceux utilisés par la réforme de l'internat du DES de rhumatologie de 2017 (58). Notre outil utilise différents types de supports d'apprentissage tels que des descriptions textuelles, des images, des vidéographies, des évaluations en ligne à type de QCM ainsi qu'une mise en pratique grâce à des dépôts de coupes par les étudiants et une correction personnalisée par un correcteur.

L'apprentissage de l'échographie de nerf à partir d'une collection d'images d'échographie a déjà été étudié pour la formation des anesthésistes à l'anesthésie loco-régionale. Elle montre que des échographistes débutants mais également expérimentés ont plus de difficultés à identifier les structures anatomiques sur des coupes enregistrées que lors d'une échographie en temps réel. Cette différence reste moins importante pour les experts et augmente lorsque l'on s'intéresse uniquement aux nerfs de petit diamètre (63). En effet, lors de l'interprétation de l'image d'une coupe échographique, la perte de l'aspect dynamique rend difficile le repérage dans l'espace et la reconnaissance des différentes structures. L'absence de précision sur le positionnement de la sonde renforce cette perte de repère. Pour éviter ces écueils, notre outil associe des coupes entièrement légendées ainsi que des coupes sériées permettant l'étude du rapport entre le nerf et une structure anatomique précise. Notre outil comprend également des vidéographies permettant de restaurer l'aspect dynamique de l'examen échographique et de mimer « la technique de l'ascenseur ». Le positionnement de la sonde est montré à l'aide d'une photographie. Une représentation anatomique 3D est mise en place sous chaque coupe précisant à nouveau le positionnement de la sonde et reprend les différentes structures légendées sur les coupes 2D.

L'absence de mention aux variations anatomiques dans l'apprentissage de l'échographie du nerf peut également être une source supplémentaire de difficultés dans l'apprentissage vu leur fréquence, surtout pour les petites branches distales. Grâce à une revue de la littérature sur l'anatomie des nerfs, nous avons évité de présenter des variations anatomiques rares dans nos coupes de références. Lorsque ces variations anatomiques sont fréquentes, plusieurs formes sont présentées (exemple : niveau de division du nerf fibulaire superficiel). Des conseils sont également proposés afin de les repérer.

Une seconde étude dans le domaine de la formation aux anesthésies loco-régionales échoguidées rapporte l'importance de trois éléments pour la réalisation de ces gestes : une bonne connaissance de l'anatomie 3D, la reconnaissance de la structure ciblée et la connaissance de la procédure du geste (64). Nous avons donc orienté très fortement notre outil sur les connaissances en anatomie. En plus des représentations anatomiques légendées sous chaque coupe, une représentation du parcours du nerf dans le membre inférieur est représentée. Elle permet une visualisation plus globale du parcours de chaque nerf. Les coupes échographiques sont intégrées au sein de descriptions anatomiques textuelles. Les coupes sont présentées de la région anatomique la plus proximale à la région la plus distale. La lecture se fait donc dans la même logique que la lecture d'un livre d'anatomie.

L'ensemble de ces éléments a pour but d'améliorer les connaissances en anatomie et d'acquérir une représentation 3D des coupes à réaliser. Afin de favoriser la reconnaissance de la structure ciblée, nos coupes s'appuient sur un maximum de repères anatomiques facilement identifiables voir cliniquement palpables, tels que des repères osseux, vasculaires, tendineux...

#### **4.2. CONCERNANT LES RESULTATS DE LA FORMATION EN LIGNE**

Concernant les résultats de la formation, la participation a été très satisfaisante (93%) aussi bien pour la partie théorique que pour la partie mise en pratique.

Les participants ont répondu aux évaluations en ligne des connaissances théoriques hormis pour l'un d'entre eux (la dernière semaine). Ce taux de participation élevé n'est pas étonnant. Il a déjà été démontré que ce type d'évaluation en ligne était perçu par les étudiants comme un autre mode d'apprentissage et non comme une simple évaluation. Basé sur une expérience de 30 ans dans l'enseignement assisté informatiquement de la pharmacologie chez les étudiants en médecine, Kerecsen et Pazdernik (65), ont montré que les étudiants préféraient un mode d'apprentissage linéaire de type « texte - question - réponse - test - question –réponse – texte ». Les étudiants préféraient le format de questions leur permettant de répondre faux pour voir les corrections. La présence d'un « feedback » sur les réponses est un élément essentiel pour permettre aux QCM d'être « formateurs ».

Le nombre de coupes obligatoires demandées était stable sur les 4 semaines. On observe une diminution du pourcentage de coupes envoyées lors de la troisième semaine, notamment concernant le 2<sup>ème</sup> nerf étudié (nerf fibulaire superficiel). Il s'agit de la semaine où le nombre de coupes demandées et leur complexité étaient les plus élevés. Il est possible que le délai d'envoi des coupes ait été trop court. Le nombre de pages affichées est en faveur de cette hypothèse. En effet, il est maximal lors de cette semaine, malgré ce taux d'envoi le plus faible. Nous avons également observé que le nombre de pages affichées étaient plus important les 2 semaines avant l'évaluation. Il est probable que l'ajout d'une journée en présentiel ou d'une évaluation à la fin de la formation en e-learning puisse augmenter l'assiduité des apprenants.

Le nombre d'affichages des vidéographies est maximal la première semaine. Les vidéographies sont restées accessibles durant les 4 semaines de formation, la première a donc bénéficié du temps de mise à disposition le plus long. Le nombre de visionnage reste cependant décevant. En effet, à partir de la deuxième semaine les pages contenant les vidéographies ont été visionnées moins de 15 fois. Ce nombre implique que les vidéographies n'ont pas été utilisées par l'ensemble des participants pour leur apprentissage. L'apport des vidéographies dans le repérage de structures anatomiques sous échographie a déjà été démontré dans le domaine des anesthésies locales dans la région du rachis. Les participants ont également montré un très haut niveau de satisfaction concernant cette formation avec vidéographies en lignes (66). Durant

notre étude, il est possible que le temps de formation ait été trop court et que les apprenants aient fait le choix de se concentrer sur l'essentiel : l'envoi des coupes échographiques au correcteur. L'apport des vidéographies aurait pu être plus important si celles-ci avaient été commentées avec un enregistrement sonore en plus d'être légendées.

#### **4.3. CONCERNANT LA CONCEPTION D'UN SCORE DE QUALITE DES COUPES D'ECHOGRAPHIES**

Afin de comparer l'apprentissage en présentiel et en e-learning, nous avons choisi l'évaluation de la qualité des coupes d'échographies comme critère de jugement principal. Ainsi, nous avons créé un score spécifique pour notre étude. La reproductibilité inter-correcteurs est excellente. Une des limites de notre étude est l'absence de validation de ce score. A notre connaissance, il n'existe pas de score évaluant à la fois la qualité de visionnage d'un nerf à l'échographie, de son environnement et la qualité technique des coupes. Nous avons retrouvé un score évaluant uniquement la qualité de visionnage des nerfs à l'échographie. Il s'agit du score de Viennes (67). Ce score est utilisé dans le domaine des anesthésies locorégionales pour décrire la qualité de visionnage des nerfs (**figure 28**). Nous avons fait le choix de ne pas utiliser ce score pour deux principales raisons.

Pour commencer, ce score propose un nombre construit uniquement sur 4 points. Notre score permet une cotation sur 12 points. Notre objectif était d'avoir une capacité de discrimination la plus élevée possible. De plus, l'échographie de nerf à visée diagnostique nécessite une visualisation plus précise des nerfs et de leur environnement que son indication dans les anesthésies locorégionales. Les sondes ont également progressé depuis la conception du score de Viennes permettant une amélioration de la qualité des images d'échographies. Un nombre de 4 items nous a donc paru peu satisfaisant pour l'évaluation de notre outil.

Deuxièmement, notre score ayant pour but une évaluation pédagogique, il est nécessaire que des qualités techniques, ou les repères anatomiques enseignés soient inclus dans la cotation de celui-ci. L'essentiel des points de notre score (8 points sur 12) reste tout de même focalisé sur la qualité de visualisation du nerf avec des items très proches du score de Viennes. L'évaluation de ce score pourrait faire l'objet d'une étude spécifique en recrutant des échographistes expérimentés et non expérimentés dans le domaine de l'échographie des nerfs. Il reste difficilement généralisable devant l'utilisation de repères anatomiques spécifiques à notre formation.

Score	Description
1	The internal structure of the nerve visualized
2	The nerve is visualized as a circular or oval bright halo (epineurium)
3	The nerve is visualized as reflections determined by the anatomy of the surrounded tissue
4	The anatomical position of the nerve shows no response to the ultrasound beam (isochoic behaviour)

**Figure 28 : score de Viennes**

#### **4.4. COMPARAISON DES GROUPES E-LEARNING ET PRESENTIELS**

Concernant le recrutement, nous avons calculé un effectif total d'au moins 30 participants. Le but était de respecter les recommandations de l'EULAR (59) en termes de temps de pratique (50 à 60% du temps de formation). 55 des 237 échographistes contactés, ont demandé à participer à cette étude. Ce nombre montre l'intérêt de ce nouveau type d'échographie en rhumatologie.

Concernant la journée d'évaluation, le nombre d'absences dans le groupe présentiel (5 absences) nous a obligé à réaliser un appariement avec les participants restant pour ne pas déséquilibrer les groupes pour l'analyse finale. Le nombre d'absents est moins important dans le groupe e-learning (un absent). Il est possible que la formation e-learning ait permis d'obtenir une plus grande motivation des apprenants, même si notre effectif ne nous permet pas de le démontrer statistiquement. Concernant l'acquisition de connaissance, il était plus avantageux de faire partie du groupe e-learning. En effet, ce groupe a bénéficié à la fois d'une formation en ligne pendant 4 semaines puis juste après l'évaluation, de la même formation que le groupe présentiel. Cette formation mixte (e-learning et présentiel) est appelée « blended learning ».

Concernant notre critère de jugement principal, à savoir la qualité des coupes d'échographie (sommées des scores par coupes), aucune différence significative n'a été observée. Ces résultats sont en faveur d'une équivalence entre l'apprentissage de l'échographie des nerfs des membres inférieurs en ligne et en présentiel.

Nous n'avons pas mis en évidence de différence en termes de quantité de coupes réalisées aussi bien pour le nombre total de coupes réalisées (obligatoires et optionnelles) que pour le nombre de coupes obligatoires. Aucune différence n'a été mise en évidence en termes de qualité des coupes (score moyen par coupe).

Nous avons proposé un système de coupes optionnelles similaires à celui de la formation en ligne afin d'évaluer la capacité des apprenants à réaliser des coupes plus complexes. Aucune différence n'a été mise en évidence entre les 2 groupes. Une des principales limites pour l'interprétation de ces résultats reste notre effectif limité.

Il est possible que les résultats du groupe e-learning soient sous-estimés. En effet, ils ont été évalués sur des appareils d'échographie qui, pour la plupart, leur étaient inconnus. Il est possible que les participants de ce groupe n'aient pas pu utiliser de façon optimale les 20 minutes. La qualité de leur coupe ou le nombre de coupes remises peut, par conséquent, être plus faible que s'ils maîtrisaient l'appareil. Le groupe présentiel a été évalué à la fin de la journée de formation. Cette journée de mise en pratique s'est déroulée sur les mêmes appareils que l'évaluation. Il est possible que les participants du groupe présentiel aient eu une meilleure maîtrise des appareils.

L'autre élément qui pourrait être à l'origine d'une sous-estimation des résultats du groupe e-learning est le temps de formation. Les cours en ligne se sont déroulés sur une durée de 4 semaines et les participants se sont présentés à la journée d'évaluation le lendemain de la fin de la formation. Le but était de comparer l'effet à court terme d'une telle formation. Il est possible qu'une durée de formation supérieure et l'instauration d'un temps supplémentaire entre la fin de la formation et l'évaluation, aurait permis aux participants de continuer à s'entraîner à la pratique de l'échographie de nerf. Il s'agit de la principale remarque faite par les participants à la formation en ligne lors du remplissage du questionnaire de satisfaction. Cet avantage du e-learning à permettre aux apprenants d'apprendre en continu et d'avoir une pratique répétée en dehors des cours en présentiel a déjà été décrit dans le cadre de l'évaluation d'un apprentissage par « blended-learning » (68).

Nous avons pu évaluer les connaissances pratiques des participants des 2 groupes. Il aurait été intéressant d'évaluer l'impact des deux formations également sur les connaissances théoriques, notamment en termes de connaissance d'anatomie. En effet, il est possible que le e-learning démontre un apport supérieur au présentiel dans ce domaine de connaissance car il permet aux apprenants d'apprendre progressivement et de manière plus approfondie. Le groupe présentiel a dû acquérir en une journée l'ensemble des connaissances théoriques et pratiques de la formation en ligne en une journée uniquement.

Aucune corrélation avec l'âge, l'expérience et le statut professionnel n'a été mise en évidence en termes de quantité, ni de qualité des coupes réalisées. Ces résultats sont en faveur d'une possibilité d'apprentissage de l'échographie des nerfs pour des échographistes de tout niveau ou de tout âge, qu'il soit praticien en ville ou hospitalier. L'absence de corrélation avec l'expérience peut s'expliquer par le fait que l'échographie des nerfs reste un domaine peu connu en rhumatologie. Notre randomisation est certes basée sur l'expérience des participants. Mais le calcul de cette expérience est fondé sur le nombre d'échographies ostéoarticulaires réalisées par le participant et non le nombre d'échographies de nerf. L'expérience des participants en échographie de nerf n'a pas été évaluée. Un des participants du groupe e-learning était sensibilisé à la pathologie nerveuse par sa pratique de l'ENMG.

Une autre limite de cette étude est que l'ensemble des participants ont été formés à l'échographie ostéoarticulaire par une formation en partie en e-learning sous forme de diplôme universitaire. Selon nos critères d'inclusion, ils devaient maîtriser les bases techniques de l'échographie pour participer à l'étude. Les résultats restent donc difficilement généralisables pour une population cible qui n'aurait jamais utilisé d'appareil d'échographie. Il est possible que pour cette population, l'autoapprentissage reste difficile. L'association de cours en présentiel et du e-learning peut être une solution alternative.

Une étude dans le domaine de l'apprentissage de l'échographie ostéoarticulaire (62), a déjà évalué un outil d'apprentissage en ligne similaire au nôtre avec un système de coupes à envoyer. Le mode d'enseignement était uniquement en e-learning. Seul 23% des participants avait validé l'examen final. Dans cette étude, 30% des participants n'avaient pu envoyer les coupes d'échographie à réaliser. Contrairement à cette étude, notre groupe e-learning a obtenu des résultats satisfaisants (score total de 61,20/84 ou score moyen par coupe 9,10/12). Ces résultats nous démontrent la nécessité d'une bonne assiduité des apprenants notamment dans l'envoi des coupes, qui permet un « feedback » efficace sur la pratique. Ces résultats nous montrent l'efficacité de notre outil dans l'apprentissage du repérage des nerfs des membres inférieurs à courts termes. Il est probable que notre outil ait été plus efficace grâce à la bonne assiduité des participants ayant permis un « feedback » efficace sur les coupes à réaliser. L'organisation, à la fin de la formation, d'une session de mise en pratique encadrée lors de la journée de formation a pu également jouer un rôle prépondérant dans la motivation des participants.

La rétention et l'implémentation sont également des domaines à évaluer afin de valider l'efficacité de notre formation. Nous avons donc demandé aux participants de réaliser à nouveau les coupes d'échographies de la journée d'évaluation à 3 mois de la formation sans utiliser de support. Leur notation sera plus complexe devant l'hétérogénéité des appareils d'échographie utilisés.

#### **4.5.SATISFACTION DES PARTICIPANTS ET VALIDATION DE L'OUTIL EN LIGNE**

Afin d'évaluer notre outil selon les recommandations de l'HAS (50), nous avons créé un questionnaire de satisfaction. L'ensemble des participants s'est montré satisfait de la formation et serait prêt à la recommander.

L'HAS recommande de s'appuyer sur le modèle Kirkpatrick (69) pour évaluer un outil d'apprentissage en ligne. Ce modèle est basé sur 4 niveaux d'évaluation (**figure 29**).

Le niveau 1 concerne la pertinence des cours et la satisfaction des apprenants. Les apprenants ont été à la fois très satisfaits de la journée de formation et de l'outil en ligne. Les cours en présentiel ou disponibles en ligne ont été jugés très pertinents. Nous n'avons pas évalué le temps passé sur l'outil. Plusieurs participants du groupe e-learning ont noté comme remarque que le temps de formation en ligne était trop court induisant une charge de travail importante chaque semaine. Le niveau de satisfaction est similaire à celui retrouvé dans la plupart des études évaluant la formation en e-learning (62,70–72)

Le niveau 2 concerne les acquis à l'issue de la formation. Comme nous l'avons vu plus haut, les scores obtenus par le groupe e-learning ont été très satisfaisants. Notre formation a permis aux participants d'apprendre à repérer les nerfs des membres inférieurs avec une bonne qualité technique. Toutefois, nous n'avons pas évalué les apprentissages théoriques lors de la journée de formation. Les résultats des QCM proposés chaque semaine sont satisfaisants mais il est possible que les apprenants aient utilisé un support pour y répondre. L'autre limite de cette évaluation est qu'elle a été systématiquement proposée dans les suites des cours théoriques en ligne. Il nous est donc difficile de conclure que notre outil a permis d'acquérir de nouvelles connaissances en anatomie.

Le niveau 3 concerne l'impact sur la pratique, plus précisément si les apprenants appliquent ce qu'ils ont appris ou s'ils ont modifié leur pratique. Nous avons donc demandé à travers le questionnaire de satisfaction, si des échographies de nerfs avaient été pratiquées depuis la formation. La plupart des participants ayant réalisé une échographie de nerf sont des participants du groupe e-learning qui ont donc bénéficié à la fois de la formation en ligne et de la journée de formation à la suite de leur évaluation. Nous n'avons pas pu mettre en évidence une différence statistique concernant le nombre d'échographies de nerfs réalisées à 3 mois de la formation entre les deux groupes. Cette absence de différence est probablement due à un effectif trop faible.

Le niveau 4 concerne l'impact de la formation sur la prise en charge des patients. Il reste très difficile à évaluer dans le cadre de notre outil. En effet, celui-ci ne concerne que les nerfs des membres inférieurs. La pathologie nerveuse a été introduite lors de la journée de formation. Il n'y avait pas de cours spécifique sur ce domaine dans l'outil en ligne, l'objectif étant d'apprendre à repérer les nerfs.

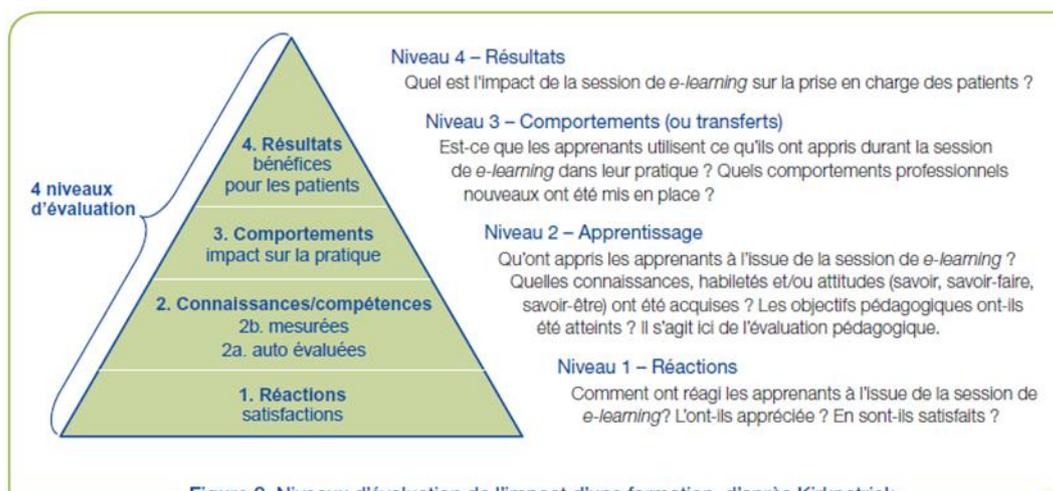


Figure 9. Niveaux d'évaluation de l'impact d'une formation, d'après Kirkpatrick

### **Figure 29 : niveau d'évaluation de Kirkpatrick (50)**

Le questionnaire a permis de mettre en évidence un élément intéressant. Bien que les participants de chaque groupe aient été satisfaits de leur formation, ils précisent qu'ils seraient intéressés par une formation similaire sur les membres supérieurs et la pathologie nerveuse avec un modèle de type e-learning associé à du présentiel. Cet attachement à une formation mixte (présentielle et en ligne) a déjà été montré. En effet, une étude dans le domaine de l'enseignement en neuropharmacologie (73) a observé le comportement des apprenants lors de ce type de formation. Ces derniers décrivent que le e-learning est un outil efficace pour l'apprentissage des connaissances basiques mais que le présentiel reste indispensable pour l'acquisition de connaissances plus complexes ou de compétences notamment techniques. La formation en e-learning a permis aux apprenants de mieux préparer les cours en présentiel notamment en préparant des questions plus pertinentes. L'ensemble de nos participants a été formé à l'échographie grâce à des diplômés universitaires enseignés sous forme de « blended-learning ». Ils ont donc déjà intégré ce mode d'apprentissage. Il est possible que les participants aient choisi de recommander une formation mixte devant la crainte de devoir s'adapter à un nouveau mode d'apprentissage (e-learning ou présentiel seul). Cette difficulté d'adaptation au changement du support d'apprentissage est bien illustrée par l'étude de Yolton et de Calesta (74). Lors de l'évaluation d'une formation en ligne dans le domaine de l'optométrie, les étudiants ont préféré imprimer les cours plutôt que de les lire sur leur ordinateur. Les cours en ligne ont pourtant été bien acceptés par les apprenants.

## **5.CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

Nous avons conçu un outil de formation en ligne pour le repérage échographique des nerfs des membres inférieurs. Il s'agit d'un outil multimédia qui permet à la fois l'apprentissage de connaissances théoriques et pratiques en auto-formation. Nous n'avons pas mis en évidence de différence entre un apprentissage en e-learning seul par rapport à un apprentissage en présentiel seul concernant la qualité des coupes d'échographie de nerfs. L'absence de corrélation entre l'âge, l'expérience, le statut professionnel et la qualité des coupes d'échographies est en faveur d'un apprentissage ouvert à tous les échographistes. Les participants ont été très satisfaits de la formation en ligne et en présentiel. Ils souhaiteraient une formation complémentaire pour les nerfs des membres supérieurs en e-learning et présentiel.

La principale limite de notre étude est le nombre de participants. Nous allons donc réaliser une nouvelle session de formation en ligne et en présentiel afin d'obtenir un nombre de participants satisfaisants. Nous allons également récupérer les coupes d'échographie de nerfs réalisées à 3 mois de la formation afin d'évaluer la rétention.

Cet outil a vocation à évoluer. Nous avons pour objectif de l'étendre à l'ensemble des nerfs du membre supérieur, en passant par le plexus brachial. Nous pourrions proposer un niveau supérieur d'étude du nerf pour des échographistes plus expérimentés. Une description plus exhaustive de leurs collatérales et de leurs variations anatomiques pourrait être proposée. Enfin, une partie concernant la pathologie du nerf pourrait être développée en proposant des coupes systématiques sur des variations anatomiques pathologiques ou des « check points » échographiques à valider en cas de pathologie. Des images pathologiques pourraient renforcer cette partie. Notre second objectif est de proposer cette formation en ligne à des spécialistes hors rhumatologues tels que les neurologues. Une formation complémentaire en présentiel sera potentiellement nécessaire pour les médecins ne maîtrisant pas les bases techniques de l'échographie.

Un des éléments importants pour permettre de mettre en place cette offre de formation reste de savoir dans quel cadre celle-ci devrait se placer : diplôme universitaire ? validé par une société savante telle que la société française de rhumatologie ? En effet, les médecins sont demandeurs d'une validation officielle de leurs nouveaux acquis pour pouvoir justifier leur pratique de la nouvelle technique en clinique. Se pose ensuite la question du modèle économique. La plateforme d'enseignement utilisée dans cette étude est gérée par l'université de Nantes qui nous avaient autorisé l'accès gratuit à tous les outils dans le cadre d'une thèse de médecine. Le coût d'utilisation de la plateforme, des locaux pour la pratique et la rémunération des enseignants devrait donc nécessiter une inscription payante pour les participants. Le cadre pratique de ces formations reste donc à déterminer.

## **6.REFERENCES**

1. Cartwright MS, Baute V, Caress JB, Walker FO. Ultrahigh-frequency ultrasound of fascicles in the median nerve at the wrist. *Muscle Nerve*. oct 2017;56(4):819-22.
2. Walker FO, Cartwright MS, Alter KE, Visser LH, Hobson-Webb LD, Padua L, et al. Indications for neuromuscular ultrasound: Expert opinion and review of the literature. *Clin Neurophysiol Off J Int Fed Clin Neurophysiol*. déc 2018;129(12):2658-79.
3. Van Doesburg MHM, Henderson J, Mink van der Molen AB, An K-N, Amadio PC. Transverse plane tendon and median nerve motion in the carpal tunnel : ultrasound comparison of carpal tunnel syndrome patients and healthy volunteers. *PloS One*. 2012;7(5):e37081.
4. Van Doesburg MHM, Yoshii Y, Villarraga HR, Henderson J, Cha SS, An K-N, et al. Median nerve deformation and displacement in the carpal tunnel during index finger and thumb motion. *J Orthop Res Off Publ Orthop Res Soc*. oct 2010;28(10):1387-90.
5. Klauser AS, Buzzegoli T, Taljanovic MS, Strobl S, Rauch S, Teh J, et al. Nerve Entrapment Syndromes at the Wrist and Elbow by Sonography. *Semin Musculoskelet Radiol*. juill 2018 ;22(3):344-53.
6. Beekman R, Van Der Plas JPL, Uitdehaag BMJ, Schellens RLLA, Visser LH. Clinical, electrodiagnostic, and sonographic studies in ulnar neuropathy at the elbow. *Muscle Nerve*. Août 2004;30(2):202-8.
7. Roghani RS, Holisaz MT, Norouzi AAS, Delbari A, Gohari F, Lokk J, et al. Sensitivity of high-resolution ultrasonography in clinically diagnosed carpal tunnel syndrome patients with hand pain and normal nerve conduction studies. *J Pain Res*. 2018 ;11:1319-25.
8. Al-Hashel JY, Rashad HM, Nouh MR, Amro HA, Khuraibet AJ, Shamov T, et al. Sonography in carpal tunnel syndrome with normal nerve conduction studies. *Muscle Nerve*. avr 2015;51(4):592-7.
9. Aseem F, Williams JW, Walker FO, Cartwright MS. Neuromuscular ultrasound in patients with carpal tunnel syndrome and normal nerve conduction studies. *Muscle Nerve*. 2017 ;55(6):913-5.
10. Boon AJ, Bailey PW, Smith J, Sorenson EJ, Harper CM, Hurdle MF. Utility of ultrasound-guided surface electrode placement in lateral femoral cutaneous nerve conduction studies. *Muscle Nerve*. oct 2011;44(4):525-30.
11. Scheidegger O, Küffer AF, Kamm CP, Rösler KM. Reproducibility of sensory nerve conduction studies of the sural nerve using ultrasound-guided needle positioning. *Muscle Nerve*. déc 2011;44(6):873-6.
12. Kamm CP, Scheidegger O, Rösler KM. Ultrasound-guided needle positioning in sensory nerve conduction study of the sural nerve. *Clin Neurophysiol Off J Int Fed Clin Neurophysiol*. juill 2009;120(7):1342-5.

13. Lucchetta M, Liotta GA, Briani C, Marquez EMF, Martinoli C, Coraci D, et al. Ultrasound diagnosis of peroneal nerve variant in a child with compressive mononeuropathy. *J Pediatr Surg.* févr 2011;46(2):405-7.
14. Gans P, Van Alfen N. Nerve ultrasound showing Martin-Gruber anastomosis. *Muscle Nerve.* 2017 ;56(5):E46-7.
15. Pillen S, Boon A, Van Alfen N. Muscle ultrasound. *Handb Clin Neurol.* 2016 ;136 :843-53.
16. Skalsky AJ, Lesser DJ, McDonald CM. Evaluation of phrenic nerve and diaphragm function with peripheral nerve stimulation and M-mode ultrasonography in potential pediatric phrenic nerve or diaphragm pacing candidates. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* févr 2015 ;26(1):133-43.
17. Boon AJ, Alsharif KI, Harper CM, Smith J. Ultrasound-guided needle EMG of the diaphragm: technique description and case report. *Muscle Nerve.* déc 2008;38(6):1623-6.
18. Regensburger M, Tenner F, Möbius C, Schramm A. Detection radius of EMG for fasciculations : Empiric study combining ultrasonography and electromyography. *Clin Neurophysiol Off J Int Fed Clin Neurophysiol.* 2018 ;129(2):487-93.
19. Johansson MT, Ellegaard HR, Tankisi H, Fuglsang-Frederiksen A, Qerama E. Fasciculations in nerve and muscle disorders - A prospective study of muscle ultrasound compared to electromyography. *Clin Neurophysiol Off J Int Fed Clin Neurophysiol.* 2017 ;128(11) :2250-7.
20. Misawa S, Noto Y, Shibuya K, Iose S, Sekiguchi Y, Nasu S, et al. Ultrasonographic detection of fasciculations markedly increases diagnostic sensitivity of ALS. *Neurology.* 18 oct 2011 ;77(16):1532-7.
21. Padua L, Di Pasquale A, Liotta G, Granata G, Pazzaglia C, Erra C, et al. Ultrasound as a useful tool in the diagnosis and management of traumatic nerve lesions. *Clin Neurophysiol Off J Int Fed Clin Neurophysiol.* juin 2013;124(6):1237-43.
22. Bayrak IK, Bayrak AO, Tilki HE, Nural MS, Sunter T. Ultrasonography in carpal tunnel syndrome : comparison with electrophysiological stage and motor unit number estimate. *Muscle Nerve.* Mars 2007;35(3):344-8.
23. Padua L, Pazzaglia C, Caliandro P, Granata G, Foschini M, Briani C, et al. Carpal tunnel syndrome : ultrasound, neurophysiology, clinical and patient-oriented assessment. *Clin Neurophysiol Off J Int Fed Clin Neurophysiol.* sept 2008;119(9):2064-9.
24. Evans KD, Roll SC, Volz KR, Freimer M. Relationship between intraneural vascular flow measured with sonography and carpal tunnel syndrome diagnosis based on electrodiagnostic testing. *J Ultrasound Med Off J Am Inst Ultrasound Med.* mai 2012;31(5):729-36.
25. Zaidman CM, Al-Lozi M, Pestronk A. Peripheral nerve size in normals and patients with polyneuropathy: an ultrasound study. *Muscle Nerve.* déc 2009;40(6):960-6.
26. Watanabe T, Ito H, Sekine A, Katano Y, Nishimura T, Kato Y, et al. Sonographic evaluation of the peripheral nerve in diabetic patients: the relationship between nerve

- conduction studies, echo intensity, and cross-sectional area. *J Ultrasound Med Off J Am Inst Ultrasound Med.* mai 2010;29(5):697-708.
27. Goedee SH, Brekelmans GJF, van den Berg LH, Visser LH. Distinctive patterns of sonographic nerve enlargement in Charcot-Marie-Tooth type 1A and hereditary neuropathy with pressure palsies. *Clin Neurophysiol Off J Int Fed Clin Neurophysiol.* juill 2015;126(7):1413-20.
  28. Padua L, Coraci D, Lucchetta M, Paolasso I, Pazzaglia C, Granata G, et al. Different nerve ultrasound patterns in charcot-marie-tooth types and hereditary neuropathy with liability to pressure palsies. *Muscle Nerve.* janv 2018;57(1):E18-23.
  29. Kerasnoudis A, Pitarokoili K, Behrendt V, Gold R, Yoon M-S. Nerve ultrasound score in distinguishing chronic from acute inflammatory demyelinating polyneuropathy. *Clin Neurophysiol Off J Int Fed Clin Neurophysiol.* Mars 2014;125(3):635-41.
  30. Grimm A, Décard BF, Axer H, Fuhr P. The Ultrasound pattern sum score - UPSS. A new method to differentiate acute and subacute neuropathies using ultrasound of the peripheral nerves. *Clin Neurophysiol Off J Int Fed Clin Neurophysiol.* nov 2015;126(11):2216-25.
  31. Padua L, Granata G, Sabatelli M, Inghilleri M, Lucchetta M, Luigetti M, et al. Heterogeneity of root and nerve ultrasound pattern in CIDP patients. *Clin Neurophysiol Off J Int Fed Clin Neurophysiol.* janv 2014;125(1):160-5.
  32. Härtig F, Ross M, Dammeier NM, Fedtke N, Heiling B, Axer H, et al. Nerve Ultrasound Predicts Treatment Response in Chronic Inflammatory Demyelinating Polyradiculoneuropathy-a Prospective Follow-Up. *Neurother J Am Soc Exp Neurother.* 2018;15(2):439-51.
  33. Bathala L, N Krishnam V, Kumar HK, Neladimmanahally V, Nagaraju U, Kumar HM, et al. Extensive sonographic ulnar nerve enlargement above the medial epicondyle is a characteristic sign in Hansen's neuropathy. *PLoS Negl Trop Dis.* juill 2017;11(7):e0005766.
  34. Bathala L, Kumar K, Pathapati R, Jain S, Visser LH. Ulnar neuropathy in hansen disease: clinical, high-resolution ultrasound and electrophysiologic correlations. *J Clin Neurophysiol Off Publ Am Electroencephalogr Soc.* avr 2012;29(2):190-3.
  35. Choi S, McCartney CJL. Evidence Base for the Use of Ultrasound for Upper Extremity Blocks: 2014 Update. *Reg Anesth Pain Med.* avr 2016;41(2):242-50.
  36. Smith J, Barnes DE, Barnes KJ, Strakowski JA, Lachman N, Kakar S, et al. Sonographic Visualization of Thenar Motor Branch of the Median Nerve: A Cadaveric Validation Study. *PM R.* 2017;9(2):159-69.
  37. Petrover D, Bellity J, Vigan M, Nizard R, Hakime A. Ultrasound imaging of the thenar motor branch of the median nerve: a cadaveric study. *Eur Radiol.* nov 2017;27(11):4883-8.
  38. Petrover D, Hakime A, Silvera J, Richette P, Nizard R. Ultrasound-Guided Surgery for Carpal Tunnel Syndrome: A New Interventional Procedure. *Semin Interv Radiol.* oct 2018;35(4):248-54.

39. Chavez J, Hattori S, Kato Y, Takazawa S, Yamada S, Ohuchi H. The use of ultrasonography during minimally invasive Achilles tendon repair to avoid sural nerve injury. *J Med Ultrason* 2001. 4 juin 2019;
40. Pyun SB, Kang CH, Yoon JS, Kwon HK, Kim JH, Chung KB, et al. Application of 3-dimensional ultrasonography in assessing carpal tunnel syndrome. *J Ultrasound Med Off J Am Inst Ultrasound Med*. janv 2011;30(1):3-10.
41. Zhu B, Yan F, He Y, Wang L, Xiang X, Tang Y, et al. Evaluation of the healthy median nerve elasticity: Feasibility and reliability of shear wave elastography. *Medicine (Baltimore)*. oct 2018;97(43):e12956.
42. Jiang W, Huang S, Teng H, Wang P, Wu M, Zhou X, et al. Diagnostic performance of two-dimensional shear wave elastography for evaluating tibial nerve stiffness in patients with diabetic peripheral neuropathy. *Eur Radiol*. mai 2019;29(5):2167-74.
43. Dikici AS, Ustabasioglu FE, Delil S, Nalbantoglu M, Korkmaz B, Bakan S, et al. Evaluation of the Tibial Nerve with Shear-Wave Elastography: A Potential Sonographic Method for the Diagnosis of Diabetic Peripheral Neuropathy. *Radiology*. févr 2017;282(2):494-501.
44. Paluch Ł, Noszczyk B, Nitek Ż, Walecki J, Osiak K, Pietruski P. Shear-wave elastography: a new potential method to diagnose ulnar neuropathy at the elbow. *Eur Radiol*. déc 2018;28(12):4932-9.
45. Kubo K, Zhou B, Cheng Y-S, Yang T-H, Qiang B, An K-N, et al. Ultrasound elastography for carpal tunnel pressure measurement: A cadaveric validation study. *J Orthop Res Off Publ Orthop Res Soc*. 2018;36(1):477-83.
46. Kousaka J, Nakano S, Ando T, Tetsuka R, Fujii K, Yoshida M, et al. Targeted sonography using an image fusion technique for evaluation of incidentally detected breast lesions on chest CT: a pilot study. *Breast Cancer Tokyo Jpn*. mars 2016;23(2):301-9.
47. Schlenker B, Apfelbeck M, Buchner A, Stief C, Clevert D-A. MRI-TRUS fusion biopsy of the prostate : Quality of image fusion in a clinical setting. *Clin Hemorheol Microcirc*. 2018;70(4):433-40.
48. Royer DF. The role of ultrasound in graduate anatomy education: Current state of integration in the United States and faculty perceptions. *Anat Sci Educ*. oct 2016;9(5):453-67.
49. Wallace S, Clark M, White J. 'It's on my iPhone': attitudes to the use of mobile computing devices in medical education, a mixed-methods study. *BMJ Open*. 2012;2(4):e001099.
50. HAS. HAS. E-learning; Guide de conception de formation ouverte et à distance (FOAD) dans le monde de la santé. 2015.
51. Montassier E, Hardouin J-B, Segard J, Batard E, Potel G, Planchon B, et al. e-Learning versus lecture-based courses in ECG interpretation for undergraduate medical students: a randomized noninferiority study. *Eur J Emerg Med Off J Eur Soc Emerg Med*. avr 2016;23(2):108-13.

52. Ogura A, Hayashi N, Negishi T, Watanabe H. Effectiveness of an e-Learning Platform for Image Interpretation Education of Medical Staff and Students. *J Digit Imaging*. oct 2018;31(5):622-7.
53. Bata-Jones B, Avery MD. Teaching pharmacology to graduate nursing students: evaluation and comparison of Web-based and face-to-face methods. *J Nurs Educ*. avr 2004;43(4):185-9.
54. Maggio MP, Hariton-Gross K, Gluch J. The use of independent, interactive media for education in dental morphology. *J Dent Educ*. nov 2012;76(11):1497-511.
55. Erickson SR, Chang A, Johnson CE, Gruppen LD. Lecture versus Web tutorial for pharmacy students' learning of MDI technique. *Ann Pharmacother*. avr 2003;37(4):500-5.
56. Bello G, Pennisi MA, Maviglia R, Maggiore SM, Bocci MG, Montini L, et al. Online vs live methods for teaching difficult airway management to anesthesiology residents. *Intensive Care Med*. avr 2005;31(4):547-52.
57. Chenkin J, Lee S, Huynh T, Bandiera G. Procedures can be learned on the Web: a randomized study of ultrasound-guided vascular access training. *Acad Emerg Med Off J Soc Acad Emerg Med*. oct 2008;15(10):949-54.
58. Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation. Arrêté du 27 novembre 2017 modifiant l'arrêté du 12 avril 2017 relatif à l'organisation du troisième cycle des études de médecine et l'arrêté du 21 avril 2017 relatif aux connaissances, aux compétences et aux maquettes de formation des diplômes d'études spécialisées et fixant la liste de ces diplômes et des options et formations spécialisées transversales du troisième cycle des études de médecine. *Journal officiel de la république française*; 2017.
59. Naredo E, Bijlsma JWW, Conaghan PG, Acebes C, Balint P, Berner-Hammer H, et al. Recommendations for the content and conduct of European League Against Rheumatism (EULAR) musculoskeletal ultrasound courses. *Ann Rheum Dis*. juill 2008;67(7):1017-22.
60. Naredo E, Bijlsma JWW. Becoming a musculoskeletal ultrasonographer. *Best Pract Res Clin Rheumatol*. avr 2009;23(2):257-67.
61. Filippucci E, Unlu Z, Farina A, Grassi W. Sonographic training in rheumatology: a self teaching approach. *Ann Rheum Dis*. juin 2003;62(6):565-7.
62. Filippucci E, Meenagh G, Ciapetti A, Iagnocco A, Taggart A, Grassi W. E-learning in ultrasonography: a web-based approach. *Ann Rheum Dis*. juill 2007;66(7):962-5.
63. Worm BS, Krag M, Jensen K. Ultrasound-guided nerve blocks--is documentation and education feasible using only text and pictures? *PloS One*. 2014;9(2):e86966.
64. Moore DL, Ding L, Sadhasivam S. Novel real-time feedback and integrated simulation model for teaching and evaluating ultrasound-guided regional anesthesia skills in pediatric anesthesia trainees. *Paediatr Anaesth*. Sept 2012;22(9):847-53.
65. Kerecsen L, Pazdernik TL. From mainframe to Web-based: 30 years of experience in computer-aided instruction of pharmacology. *Naunyn Schmiedebergs Arch Pharmacol*. juill 2002;366(1):83-9.

66. VanderWielen BA, Harris R, Galgon RE, VanderWielen LM, Schroeder KM. Teaching sonoanatomy to anesthesia faculty and residents: utility of hands-on gel phantom and instructional video training models. *J Clin Anesth.* mai 2015;27(3):188-94.
67. Marhofer P. *Ultrasound guidance for nerve blocks: principles and practical implementation.* Oxford University Press. 2008;
68. Hung D, Wong P. Toward an information and instructional technology research framework for learning and instruction. *Educ Technol.* 2000;61-2.
69. Kirkpatrick D, Kirkpatrick J. *Evaluating training programs: the four levels.* Kirkpatrick DL and AI, San Francisco: Berrett-Koehler Publishers, 1998. 2nd ed. San Francisco, CA: Berrett-Koehler Publisher; 1998.
70. Cook DA, Levinson AJ, Garside S, Dupras DM, Erwin PJ, Montori VM. Internet-based learning in the health professions: a meta-analysis. *JAMA.* 10 sept 2008;300(10):1181-96.
71. George PP, Papachristou N, Belisario JM, Wang W, Wark PA, Cotic Z, et al. Online eLearning for undergraduates in health professions: A systematic review of the impact on knowledge, skills, attitudes and satisfaction. *J Glob Health.* Juin 2014;4(1):10406.
72. Lahti M, Hätönen H, Välimäki M. Impact of e-learning on nurses' and student nurses knowledge, skills, and satisfaction: a systematic review and meta-analysis. *Int J Nurs Stud.* janv 2014;51(1):136-49.
73. Morton CE, Saleh SN, Smith SF, Hemani A, Ameen A, Bennie TD, et al. Blended learning: how can we optimise undergraduate student engagement? *BMC Med Educ.* 4 août 2016;16:195.
74. Yolton RL, deCalesta D. Pacific's experience with Web-based instruction: bats in the belfry or Webs in the classroom? *Optom St Louis Mo.* janv 2000;71(1):20-8.

## **7.ANNEXES**

### **7.1.ANNEXE 1 : QUESTIONNAIRE LORS DU RECRUTEMENT**

---

#### Google Form n°1 – Inscription des participants

Titre du formulaire : « Inscription étude e-learning vs présentiel/ Formation échographie des nerfs »

**Nom Prénom \***

**Email \***

**Âge**

**Spécialité médicale (rhumatologie, MPR, médecine générale...) \***

**Statut**

- Interne
- Chef de clinique/assistant
- Praticien hospitalier
- Libéral
- Autres (à préciser)

**Autre :**

(Champ libre)

**Formation à l'échographie**

- DU/DIU
- Congrès/atelier
- Autres (à préciser)

**Autre :**

(Champ libre)

**Nombre d'échographie moyen par semaine**

(Champ libre)

**Nombre d'année d'expérience de pratique de l'échographie**

(Champ libre)

**Avez-vous déjà bénéficié d'une formation en e-learning ?**

Oui Non

**J'ai été formé et/ou pratique l'ENMG**

Oui Non

**Je suis informé que les participants seront répartis de façon aléatoire dans les groupes e-learning et atelier en présentiel. Les 2 groupes bénéficieront d'une journée de formation et de mise en pratique. \***

Oui Non

## 7.2.ANNEXE 2 : QUESTIONNAIRE DE SATISFACTION

### Google Form n°2 – Satisfaction de la formation

Titre du formulaire : « Concernant la formation échographie nerfs membres inférieurs »

#### Concernant les cours en ligne (e-learning)

*Groupe e-learning seulement*

Concernant le e-learning, quel est votre niveau de satisfaction global (entre 0 et 10)

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Évaluez la qualité et pertinence des cours proposés en ligne (entre 0 et 10)

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Évaluez l'organisation globale des cours en ligne (réactivité des encadrant, correction des coupes, nombre de coupe par semaine, planning, informations...)

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Évaluez la qualité de la plateforme Extradoc (ergonomie, accessibilité, intuitivité...)

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Avez-vous des remarques concernant la formation en ligne ?

(Champ libre)

#### Concernant la journée de formation

*Groupe e-learning et présentiel*

Concernant la journée de formation, quel est votre niveau de satisfaction global (entre 0 et 10)

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Évaluez la qualité/pertinence des présentations (entre 0 et 10)

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Évaluez la qualité de la mise en pratique (nombre de personne par groupe/par appareil, encadrement, appareils d'échographie, durée...)

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Évaluez la qualité de l'organisation (lieu, salles, planning, repas ...)

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Avez-vous des remarques concernant la journée de formation ?

(Champ libre)

## Concernant les suites de la formation

*Groupe e-learning et présentiel*

Avez-vous réalisé des échographies de nerfs dans les suites de la formation ?

OUI NON

Si oui, combien ?

Recommanderiez-vous cette formation ?

OUI NON

Seriez-vous intéressé par une formation à l'échographie des nerfs des membres supérieurs et/ou du plexus brachial ?

- OUI, lors d'une journée de formation
- OUI, uniquement avec une formation en ligne
- OUI, lors d'une formation en ligne avec une journée de formation
- NON

### 7.3. ANNEXE 3 : COURS EN LIGNE

Les cours sont présentés en l'état de leur mise en ligne

#### Préambule.

Merci d'avoir accepté de participer à cette étude.

Devant une durée d'étude limitée à 4 semaines, il nous est impossible de travailler sur l'ensemble des nerfs. Nous avons donc choisi de nous concentrer sur les principaux nerfs des membres inférieurs.

Afin que cette étude ne vous soit pas trop chronophage et pour ne pas être limité par l'hétérogénéité du parc échographique, certaines coupes complexes ont été mises en optionnel.

L'objectif final est simple : les participants doivent être capables d'identifier chaque nerf puis par la technique de l'ascenseur (voir cours d'introduction) être capable d'étudier un nerf sur toute sa longueur.

#### Méthodologie des coupes

Un cours sera mis en ligne chaque semaine avec une série de 3 à 5 coupes à envoyer dans un délai de 7 jours. Une série de QCM sera également proposée chaque semaine avec un même délai pour répondre.

Nous vous demandons de bien vouloir identifier les nerfs à l'aide d'un repère sur les coupes avant de les envoyer (flèche). Si vous choisissez d'entourer le nerf, merci de nous envoyer la coupe originale et celle marquée.

Pour chaque coupe, le plus important reste l'identification du nerf. Les variations anatomiques entre individus ne vous permettront pas toujours d'obtenir exactement la même coupe.

Les coupes sont présentées selon une logique d'anatomie (de la région la plus proximale à la région la plus distale). Nous avons donc défini **des coupes de référence** qui vous permettront de repérer plus facilement le nerf. Ces coupes sont un point de départ vous permettant d'effectuer le reste des coupes grâce à **la méthode de l'ascenseur**.

Les vidéographies sont accessibles sur la plateforme extradoc et téléchargeables sur un lien dropbox. Elles sont normalement lisibles par tous les types de lecteur (y compris smartphones). Nous vous recommandons de les télécharger avant de les lire. En cas de bug (ralentissement, mauvaise définition), n'hésitez pas à changer de lecteur vidéo.

Pour toutes autres explications : PArnolfo@gmail.com

Bon courage,

Paul ARNOLFO

Benoit LE GOFF

# Chapitre 1 : bases physiques de l'échographie, principaux réglages, bases de l'échographie du nerf.

## A) Bases physiques de l'échographie

### 1) Principes généraux

L'échographie est un examen d'imagerie basé sur l'émission d'ondes ultrasonores. La sonde (= transducteur) est capable de transformer un courant électrique en une onde sonore par un effet piézoélectrique.

Cette onde sonore se caractérise par :

- Une longueur d'onde (nm),
- Une fréquence (Hz),
- Une intensité (dB) ou amplitude,
- Une vitesse (m/s).

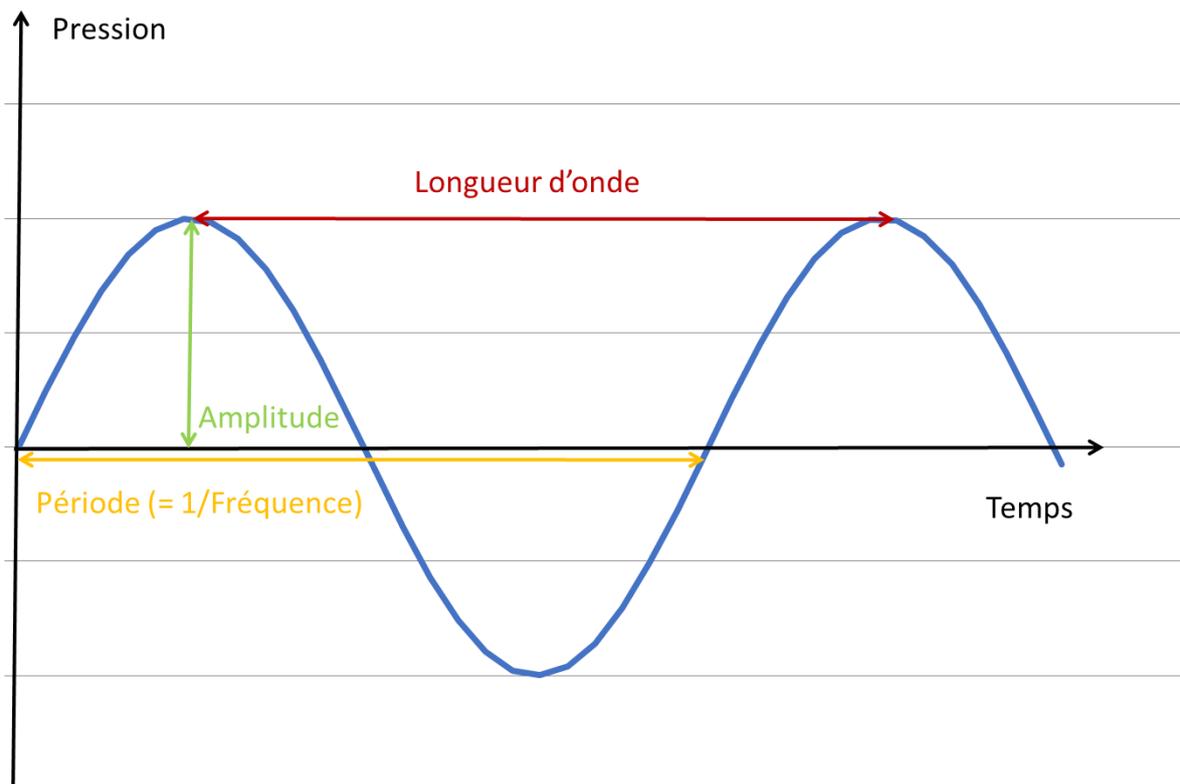


Figure A : onde sonore

La sonde réceptionne les ondes ultrasonores réfléchies et les convertit en signal électrique afin de produire une image.

## 2) Diffusion des ultrasons

Lors de la propagation des ondes dans différents milieux (tissus), une perte d'énergie se produit, appelée « atténuation » (en dB). Cette atténuation dépend du type de milieux traversés et augmente avec la fréquence de l'onde.

Il existe trois phénomènes d'atténuation (Fig B) :

- La réfraction et la réflexion : lorsqu'une onde sonore rencontre une interface séparant deux milieux (tissus) d'impédance différente, une partie de l'onde est transmise avec un angle différent (réfraction), l'autre partie est réfléchi (réflexion) puis recaptée par la sonde. La réflexion favorise la formation d'artefact si l'angle d'incidence n'est pas de 90°. Si cet angle est de 90°, la réflexion permet de visualiser l'interface entre deux milieux (contour d'un organe). La réfraction va permettre de visualiser des tissus plus profonds.
- La diffusion ou la diffraction : il s'agit de l'émission des ondes dans toutes les directions lors de la rencontre d'une structure d'une taille inférieure à la longueur d'onde de l'onde ultrasonore. Cette atténuation permet de visualiser le parenchyme des organes et l'effet doppler,
- L'absorption : il s'agit d'une production de chaleur.

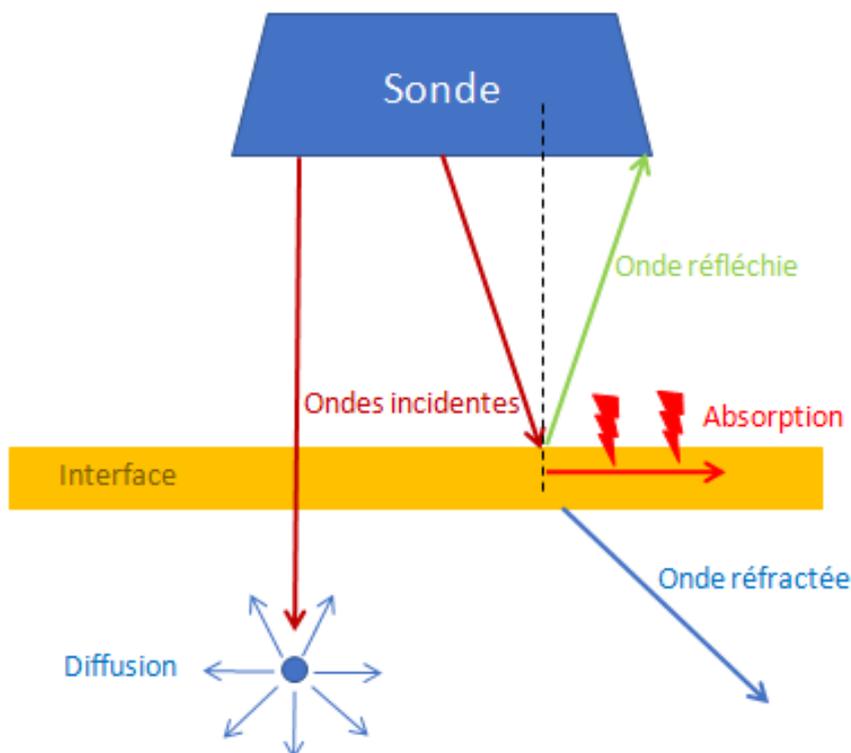


Figure B : phénomènes d'atténuation d'une onde sonore

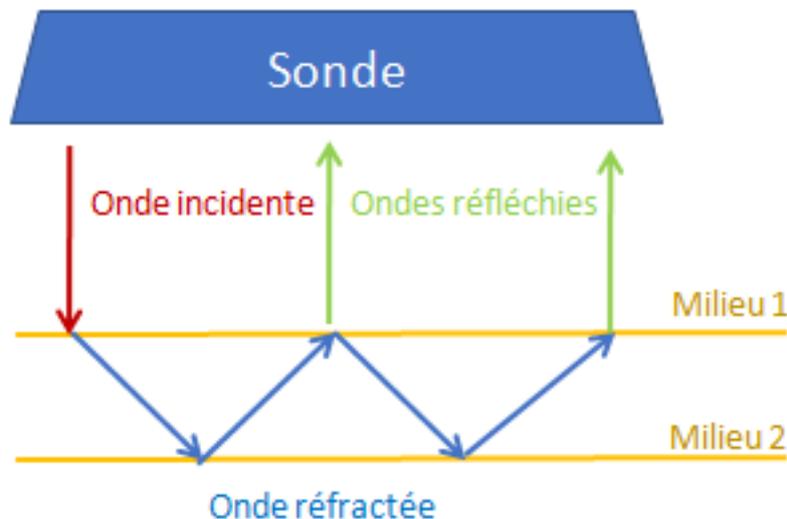
### 3) Les artefacts

Les artefacts dont le mécanisme est en lien avec une discordance d'atténuation sont :

- Le renforcement postérieur : il s'agit d'une augmentation du signal (hyperechogénicité) en arrière d'une structure liquidienne du fait d'une diminution du phénomène d'atténuation,
- Le cône d'ombre postérieur : il s'agit d'une diminution du signal (hypoéchogénicité/anéchogénicité) du fait d'une interface entre 2 tissus favorisant de façon trop importante la réflexion et non la réfraction.

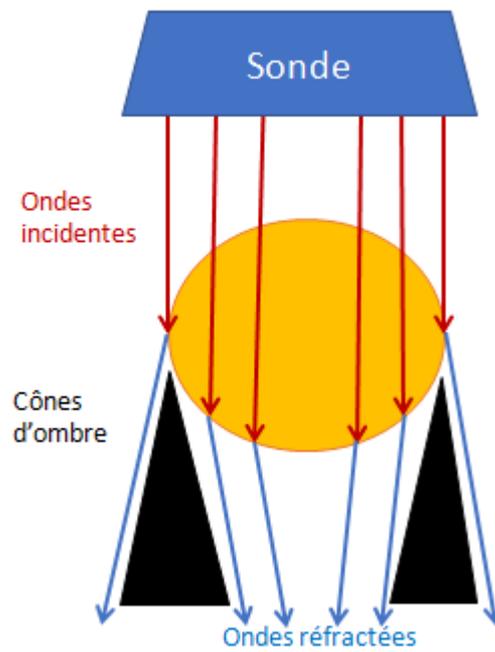
Les artefacts dont le mécanisme est en lien avec un défaut de réflexions sont :

- L'artefact de réverbération ou écho de répétition : l'onde piégée entre deux surfaces réfléchissantes, rebondit à plusieurs reprises. A chaque rebond une partie de l'onde est réfléchi et captée par la sonde créant une image (Fig C). Un cas particulier d'artefact de réverbération est l'artefact en queue de comète. Il s'agit d'une trainée hyperéchogène liée à des réflexions de l'onde sonore de façon contiguë (exemple : présence de bulles d'air).



*Figure C : artefact de réverbération ou écho de répétition*

- L'image en miroir : la réflexion des ondes sur une interface très réfléchissante et étendue peut être à l'origine d'une image « en miroir » d'une structure située sous cette interface (l'image de la structure est faussement dupliquée),
- L'artefact de bord ou cône d'ombre des parois latérales : il s'agit d'une diminution du signal (hypoéchogénicité) en arrière des parois latérales d'un organe. Les ondes ultrasonores sont plus réfléchies en regard des parois arrondies des organes (Fig D).



*Figure D : artéfact de bord*

- **L'anisotropie** : certaines structures sont plus ou moins échogènes en fonction de l'inclinaison de la sonde (d'où l'importance d'un angle incident à  $90^\circ$  afin de favoriser la détection des ondes réfléchies par la sonde). Cet artéfact favorise la différenciation entre un nerf et un tendon (voir plus bas). Il s'agit du premier artéfact contre lequel l'échographiste doit lutter.

## B) Principaux réglages de l'appareil d'échographie

### 1) Choix de la sonde

Le choix de la sonde varie en fonction de la zone d'exploration notamment de sa profondeur.

En effet, plus la fréquence est élevée plus la résolution spatiale est élevée mais également plus l'atténuation est forte entraînant une diminution de la pénétration.

On distingue 2 types de sondes :

- Linéaires (10 à 15 Mhz en moyenne), dites de « hautes fréquences » (parfois « très haute fréquence », 20 à 50 Mhz) pour les structures superficielles,
- Courbes/convexes (3 à 8 Mhz en moyenne), dites « basses fréquences » pour les structures profondes,
- Plus spécifiques ; par exemple en « T » pour l'échographie de petites structures superficielles comme les doigts.

### 2) Position de la sonde

En coupe longitudinale, l'image à gauche de l'écran doit concerner la partie proximale/céphalique de la structure étudiée.

En coupe axiale, l'image à gauche de l'écran correspond à la gauche de l'opérateur. Elle correspond également au côté marqué de la sonde (marquage unique, trait vertical, marquage lumineux...)

### 3) Réglage de la fréquence et de la profondeur

Après avoir choisi une sonde adaptée, un réglage de la fréquence peut être nécessaire afin d'optimiser la résolution spatiale au niveau de la cible.

Le réglage de la profondeur (ou « zoom ») doit permettre d'observer l'ensemble de la cible à l'écran.

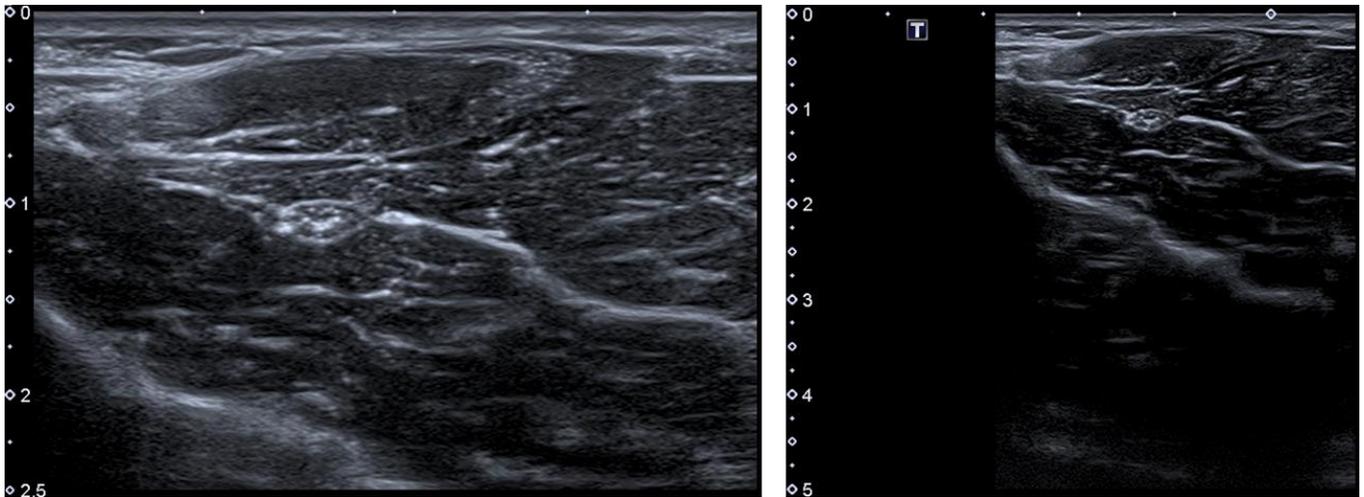


Figure E : à gauche, zoom/profondeur centrée sur le nerf médian. A droite : zoom trop faible/ profondeur trop importante.

### 4) Réglage de la focale

La focale est un paramètre qui permet de « focaliser » les ultrasons à une profondeur donnée. Le principe est de réduire le faisceau d'ultrasons à une profondeur voulue afin d'augmenter la résolution de l'image. La focale doit être ajustée à la profondeur de la zone à explorer. Elle peut être simple (un niveau de focalisation) ou multiple (2 niveaux de focalisation).

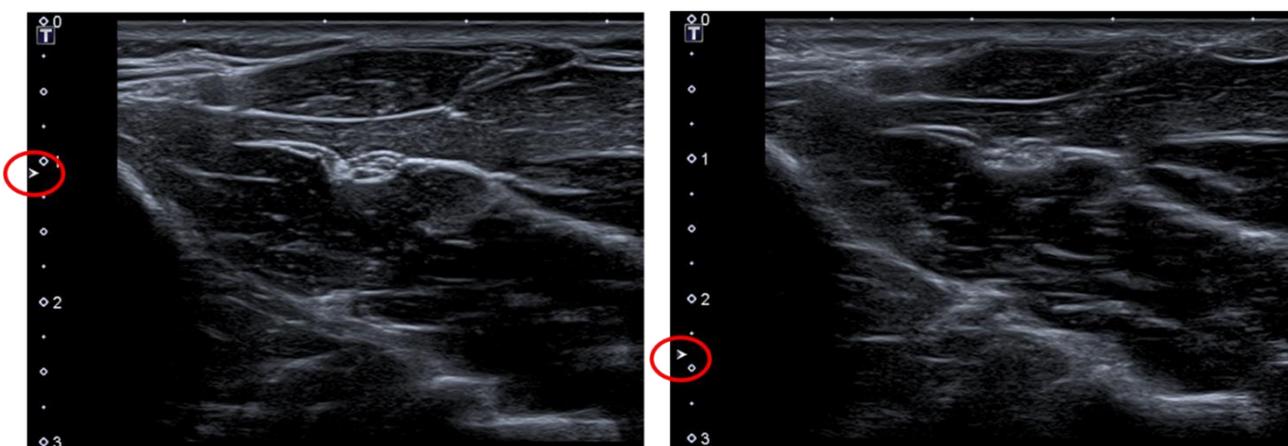


Figure F : à gauche, focale (simple) réglée pour l'étude du nerf médian. A droite : la focale est trop basse, on remarque une perte de résolution en regard du nerf médian.

## 5) Réglage du gain

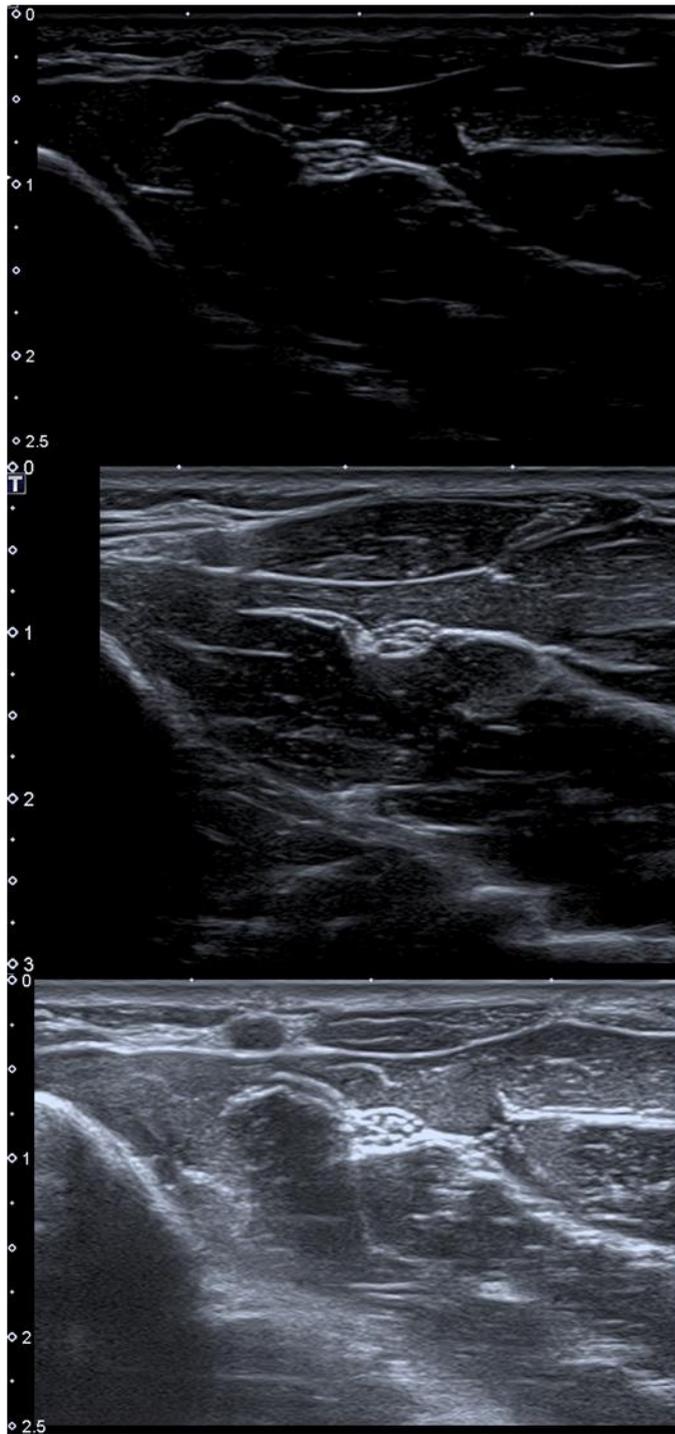
Le gain est un paramètre qui permet de régler la « brillance » de l'image. Il s'agit de trouver le meilleur compromis entre une image saturée (trop brillante) et un manque d'information (image trop sombre).

Il existe 2 types de gain :

- le gain général (prend en compte toute les profondeurs),
- le gain multiétagé (réglage en fonction de différentes profondeurs).



**Figure G : à gauche : réglage du gain multi étagé. A droite, réglage du gain simple (nommé « 2D » sur cet appareil)**

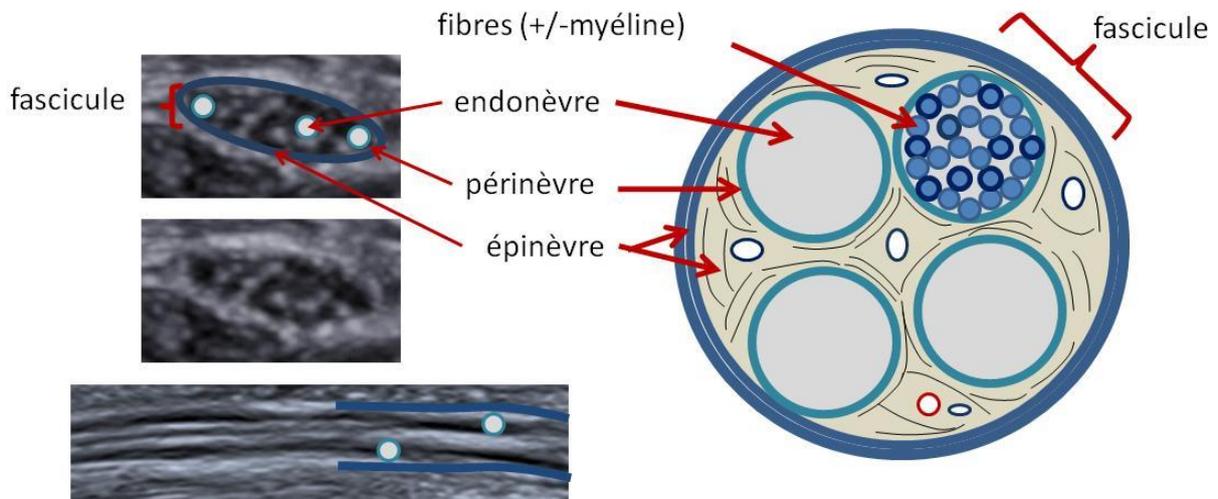


**Figure H : en haut : le gain est trop faible, les structures autour du nerf médian sont hypoéchogènes ce qui empêche leur étude. Au centre : le réglage du gain permet l'étude du nerf et de son environnement. En bas : le gain est trop fort, l'image paraît saturée. Il est à noter que lors d'une échographie de nerf le réglage du gain est généralement plus bas que lors d'une échographie ostéo-articulaire. Le principe est d'augmenter le contraste entre le nerf et son environnement.**

## Echographie du nerf

### 1) Échostructure et anatomie

L'échostructure du nerf est très bien corrélée avec son anatomie (Fig I). Les faisceaux donnent un aspect caractéristique en coupe transversale de « petit ovaire » ou « nid d'abeille ». Ils sont constitués de fibres nerveuses (myélinisées et non myélinisées), entourées par de l'endonèvre (hypoéchogène). Chaque fascicule est entouré par un tissu conjonctif nommé périnèvre lui-même contenu dans l'épinèvre. Ces deux tissus ont un aspect hyperéchogène. L'épinèvre est entouré par le paranèvre qui agit comme une gaine de glissement entre le nerf et son environnement. Ce dernier n'est pas visible à l'échographie.



**Figure I : corrélation entre l'échostructure et l'anatomie du nerf en coupe transversale et longitudinale. L'endonèvre et les fascicules sont hypoéchogènes. Le périnèvre et l'épinèvre sont hyperéchogènes.**

Cet aspect typique du nerf n'est pas toujours retrouvé car il dépend principalement de la profondeur du champ exploré, de l'environnement du nerf mais aussi de son parcours. Il existe une grande variabilité de l'échostructure entre les nerfs (variabilité inter-nerf) mais aussi au sein d'un même nerf (variabilité intra-nerf, Fig J).

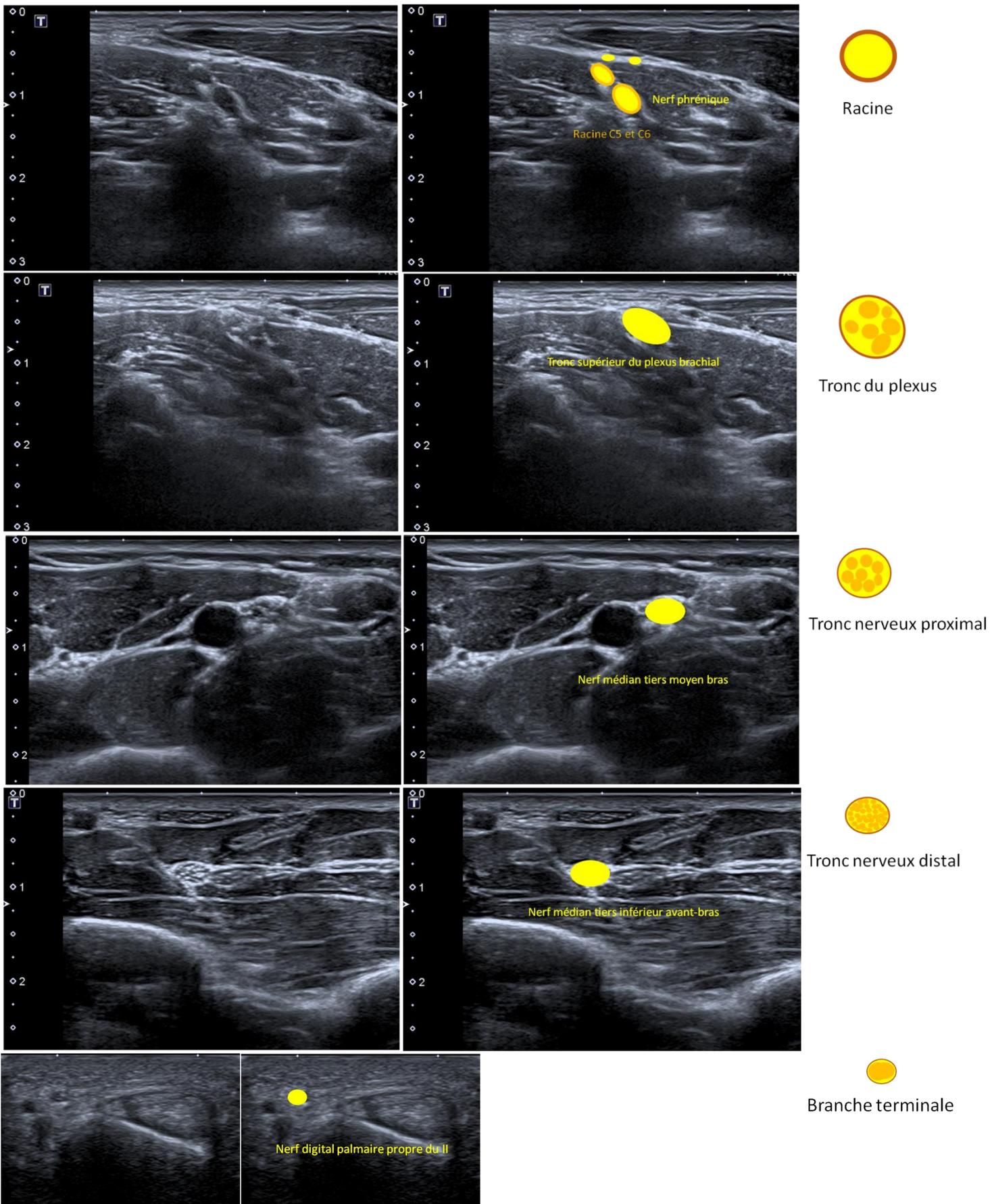
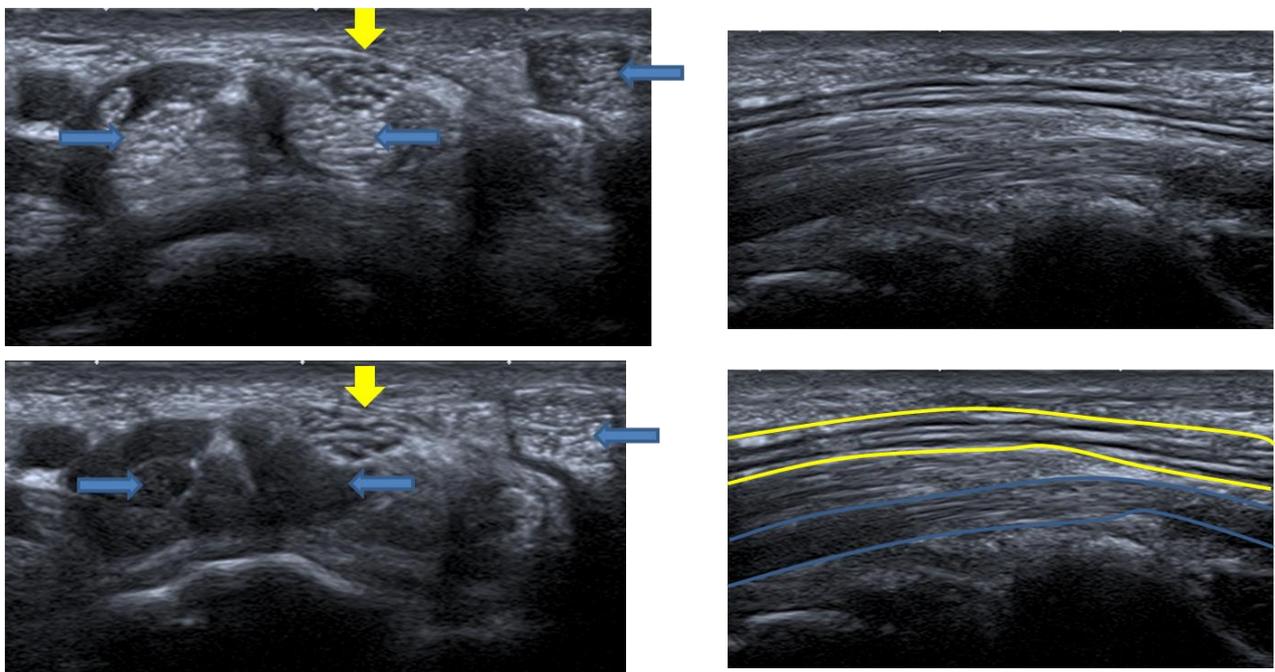


Figure J : variation de l'échostructure du nerf médian de la racine nerveuse à une branche terminale sensitive.

Un des principaux pièges de l'échographie du nerf lors de son apprentissage est de confondre un tendon avec un tronc nerveux, notamment en regard de la partie distale du membre inférieur.

L'aspect fasciculé du nerf en coupe transversale reste le meilleur signe de distinction. L'anisotropie peut être également une aide précieuse ; en jouant sur l'inclinaison de la sonde l'échogénicité du tendon se modifie clairement alors qu'elle ne se modifie pas pour les nerfs (Fig K).

Une coupe longitudinale peut permettre également de faire cette distinction : les fascicules seront hypoéchogènes et permettront de confirmer la présence d'une structure nerveuse, tandis que des fibres hyperéchogènes et fines confirmeront la nature tendineuse de la structure (Fig K). Les manœuvres dynamiques peuvent permettre d'identifier un tendon.

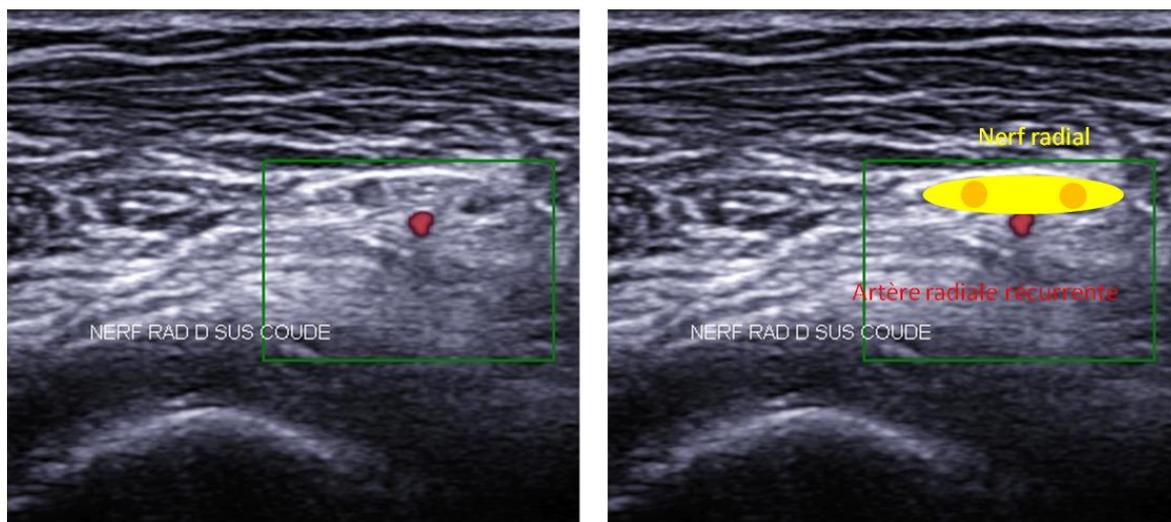


**Figure 3 : à gauche : en inclinant la sonde, l'échogénicité du nerf médian ne se modifie pas (flèche jaune), contrairement au tendon (anisotropie, flèche bleue). A droite, en coupe longitudinale, on identifie clairement le nerf médian (en jaune) par ses fascicules hypoéchogènes, par rapport au tendon des fléchisseurs sous-jacent (en bleu) qui présente des fibres fines hyperéchogènes).**

## 2) Eviter les pièges

Le repérage du nerf doit se faire à l'aide de repères anatomiques simples tels qu'un repère osseux, vasculaire ou triangle anatomique (= **coupe de référence**). Une fois le nerf repéré, il suffit de le suivre jusqu'à la région anatomique à explorer (« technique de l'ascenseur »).

Le doppler doit être utilisé de façon quasi-systématique notamment pour les petits nerfs. L'aspect fasciculé pouvant être absent, leur aspect est proche de celui de la vascularisation (Fig L).



**Figure L4 : exemple d'une artère mimant un fascicule nerveux révélée par le doppler.**

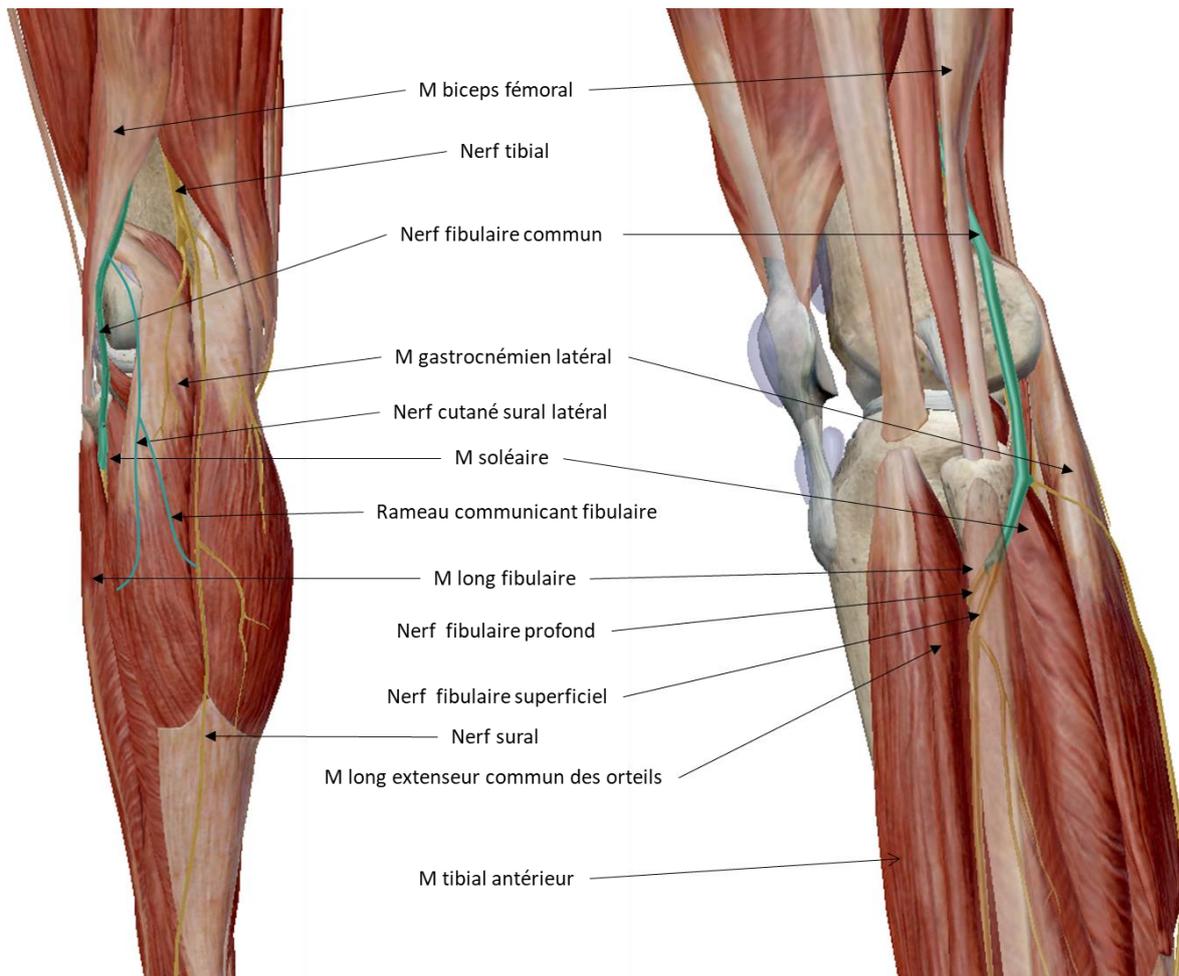
L'étude doit se faire également en amont et en aval de la région à explorer afin de ne pas méconnaître une variation anatomique (« technique de l'ascenseur »).

En situation pathologique, l'examen doit être bilatéral et comparatif en commençant si possible par le côté sain. Une étude spécifique de l'aspect du nerf doit être menée, mais également une étude de son environnement.

# Nerf 1 : nerf fibulaire commun (NFC)

## A) Généralités

Selon l'ancienne nomenclature, le nerf fibulaire commun (NFC) est également nommé nerf sciatique poplitée externe (SPE) ou nerf péroné commun. Il naît de la division du nerf sciatique en nerf tibial et nerf fibulaire commun. Il s'agit d'un nerf du tiers inférieur de la face postérieure de la cuisse et de la région poplitée. Une de ses principales branches collatérales est le nerf cutané sural latéral. Il donne deux branches terminales au niveau du col de la fibula : le nerf fibulaire superficiel (NFS) et le nerf fibulaire profond (NFP).



**M : muscle**

L'étude échographique de ce nerf est un classique. En effet, la compression du nerf fibulaire commun au col est le principal syndrome canalaire aux membres inférieurs.

Pour l'étude de ce nerf, nous proposons la réalisation de 5 coupes :

- coupe axiale du nerf fibulaire commun et du nerf tibial au niveau de la fosse poplitée,
- coupe axiale de la naissance de sa principale branche collatérale (rameau communicant fibulaire et nerf cutané sural latéral) (**optionnelle**),
- coupe axiale du nerf fibulaire commun au niveau de la tête de la fibula (**coupe de référence**),
- coupe axiale du nerf fibulaire commun lors de son entrée dans le tunnel fibulaire
- coupe axiale au niveau de la division en nerf fibulaire superficiel et nerf fibulaire profond au niveau du col de la fibula (**optionnelle**).

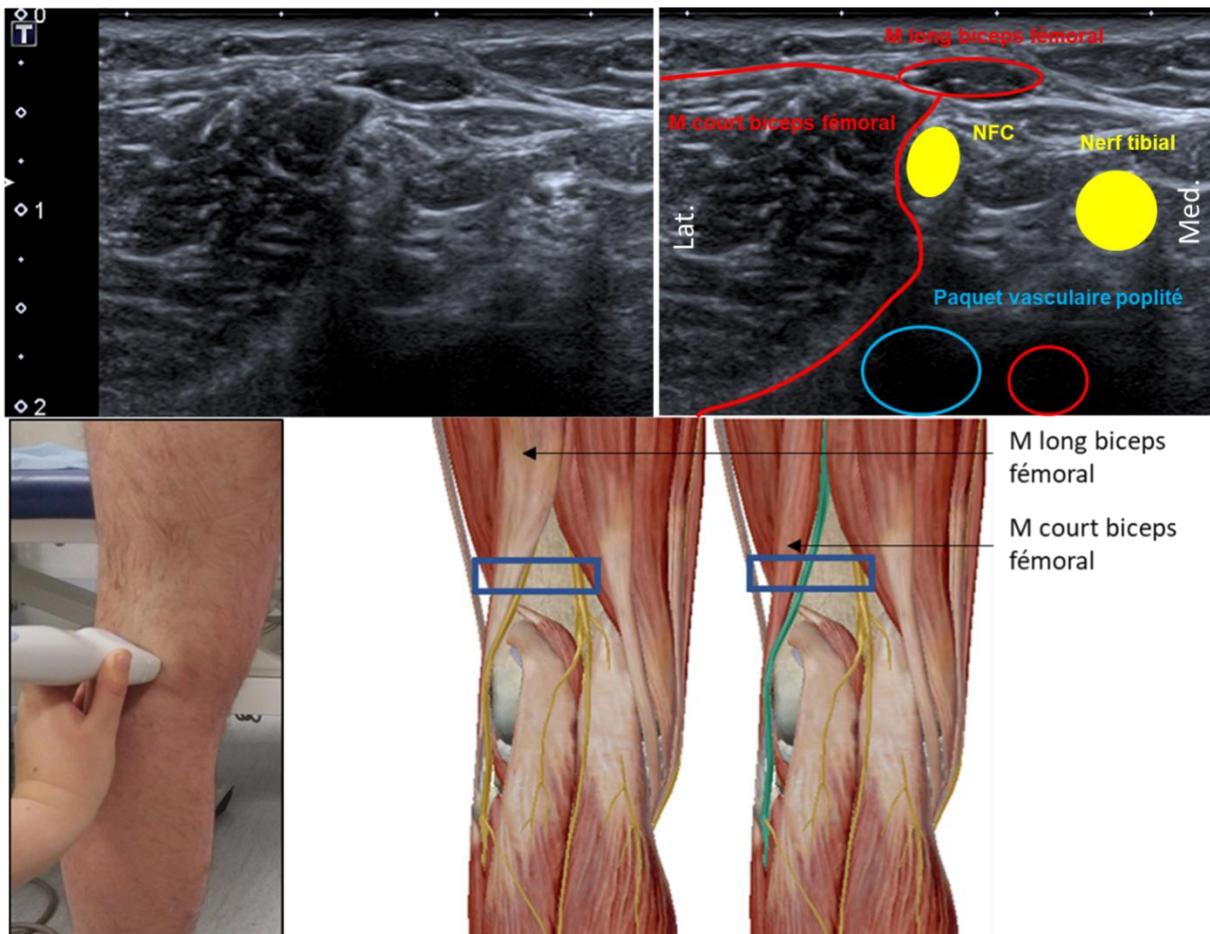
Afin de favoriser le repérage de ses coupes et de mieux visualiser le parcours du nerf fibulaire commun, nous proposons deux vidéographies :

- vidéo 1 : trajet du nerf fibulaire commun de la fosse poplitée jusqu'à la tête de la fibula,
- vidéo 2 : trajet du nerf fibulaire commun jusqu'à l'émergence en sous cutanée d'une de ses branches terminales : le nerf fibulaire superficiel.

## B) Coupes et anatomie

### Coupe 1 : coupe axiale du nerf fibulaire commun et du nerf tibial au niveau de la fosse poplitée

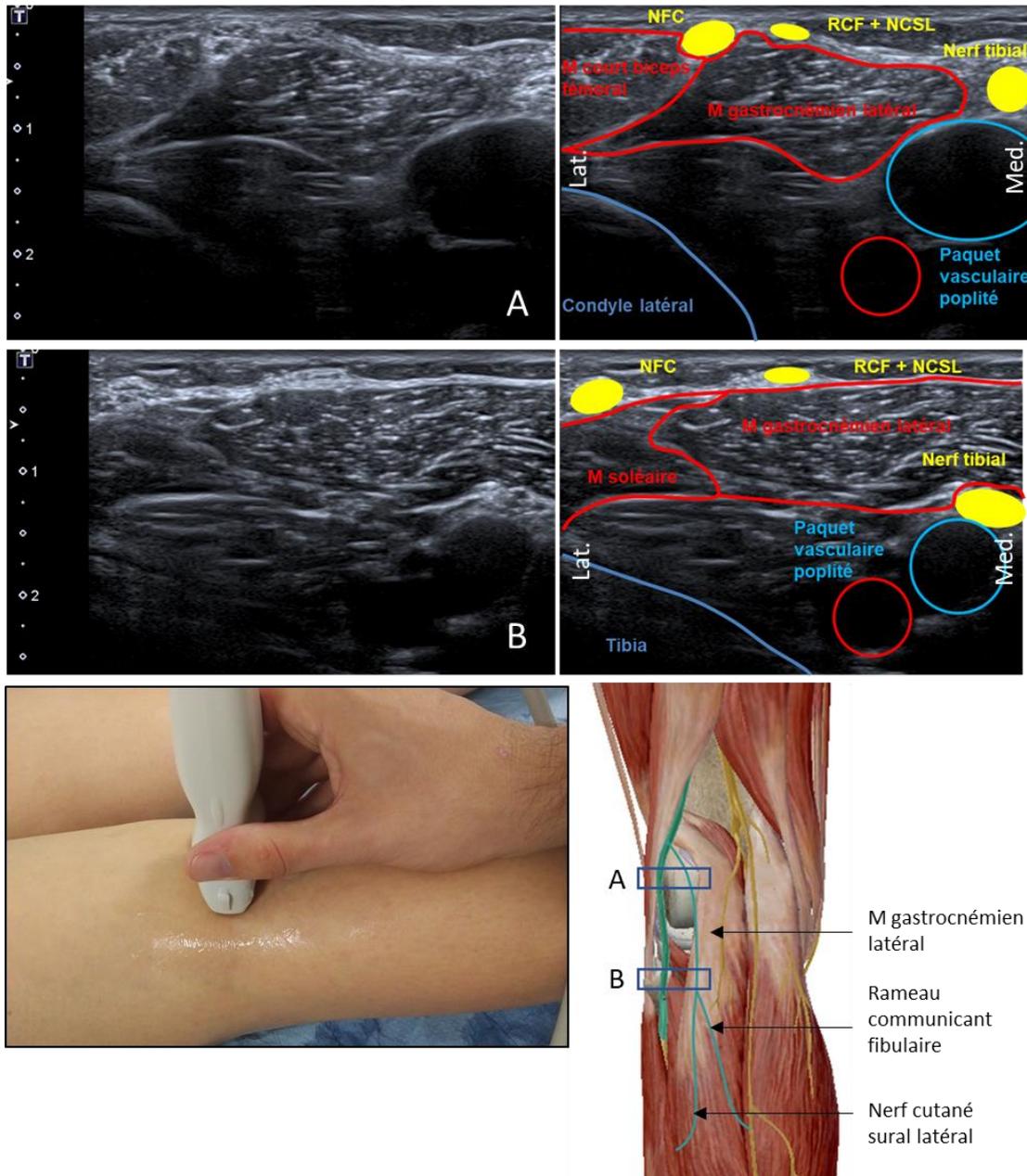
Après la division du nerf sciatique sous le muscle biceps fémoral (chef long) au niveau du tiers distal de la cuisse, le nerf fibulaire commun descend dans la région de la fosse poplitée en suivant le bord médial du muscle biceps fémoral (chef court).



*Aide : le chef court du muscle biceps fémoral est un bon repère anatomique. Le nerf fibulaire commun naît sous celui-ci pour ensuite le suivre sur son bord médial. Il est parfois difficile d'identifier le nerf fibulaire commun au niveau du creux poplité. Dans cette situation, le plus simple est d'identifier ce nerf en regard de la tête de la fibula (coupe 3) et de le remonter. Sur la représentation anatomique 3D à droite, le muscle long biceps fémoral a été effacé. M : muscle, NFC : nerf fibulaire commun.*

## Coupe 2 : coupe axiale de la naissance de sa principale branche collatérale (rameau communicant fibulaire et nerf cutané sural latéral)

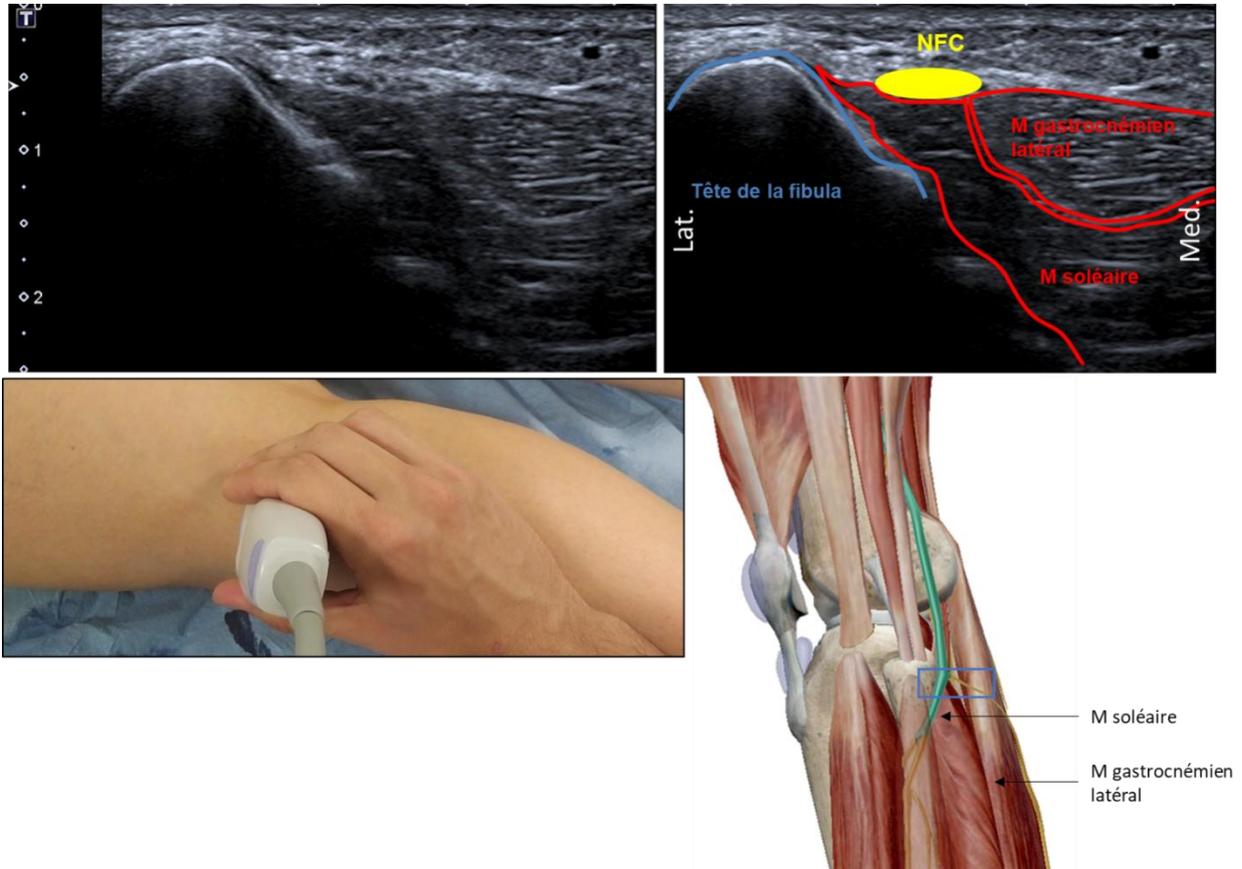
Lors de son trajet dans la région postérieure du genou, le nerf fibulaire commun peut donner deux branches collatérales : le nerf sural cutané latéral et le rameau communicant fibulaire. Ces derniers peuvent naître successivement à partir du nerf fibulaire commun où à partir d'un tronc commun issu de ce même nerf.



**Aide :** la naissance de cette collatérale est inconstante par sa forme ou sa localisation, il est nécessaire d'utiliser la technique de l'ascenseur sur l'ensemble de nerf fibulaire commun pour ce repérage. Pour différencier, le nerf cutané sural latéral du rameau communicant fibulaire, il suffit de suivre chacune des collatérales jusqu'à leur distalité. Le rameau communicant finit par rejoindre la petite veine saphène pour donner le nerf sural tandis que le nerf cutané latéral sural se termine par des branches terminales sous-cutanées. NFC : nerf fibulaire commun, RCF : rameau communicant fibulaire, NCSL : nerf cutané sural latéral, M : muscle.

### Coupe 3 : coupe axiale du nerf fibulaire commun au niveau de la tête de la fibula (coupe de référence)

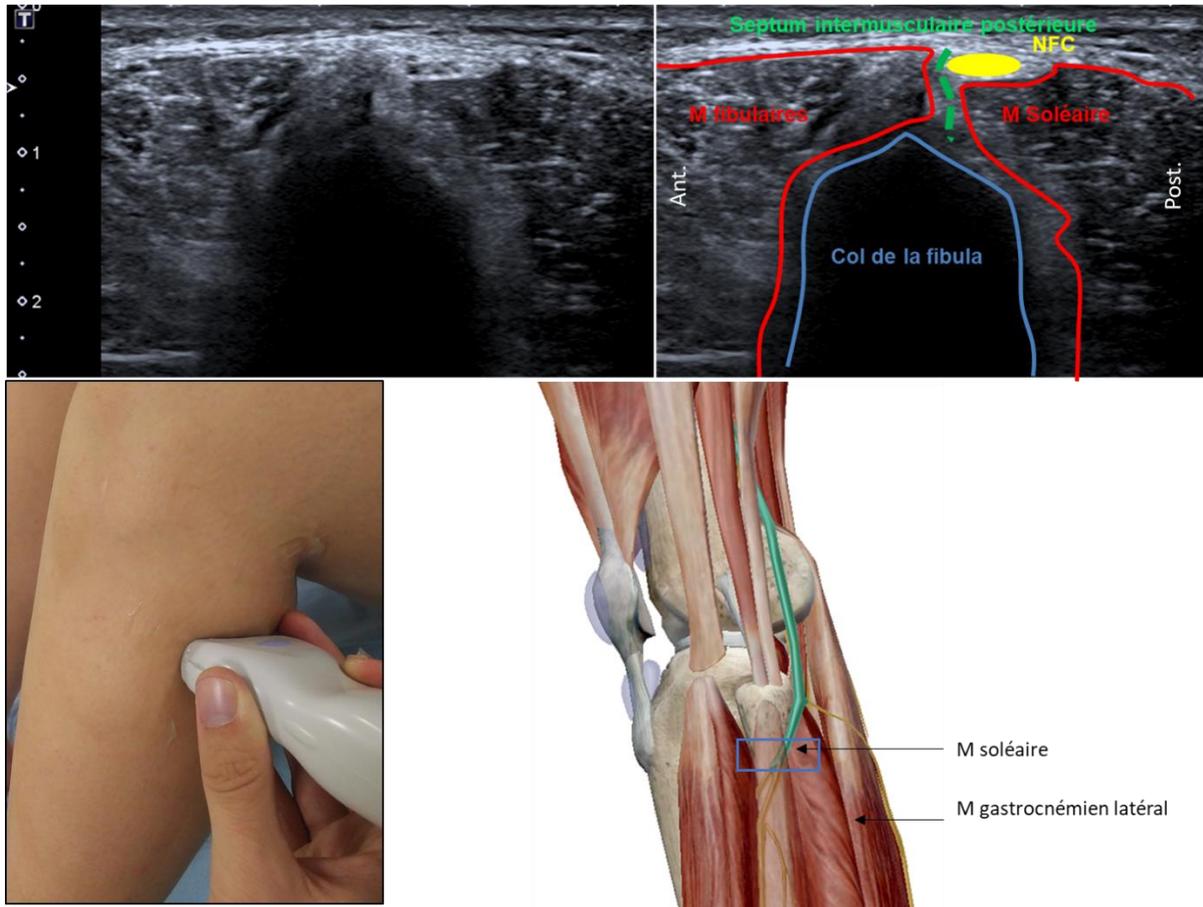
Le nerf fibulaire commun chemine à proximité de la partie postérieure de la tête fibulaire avant de contourner le col de la fibula.



**Aide :** la tête de la fibula est un très bon repère pour l'étude du nerf fibulaire commun. Il passe le plus souvent à 1 cm en arrière de celle-ci. Cette coupe permet de repérer de façon quasi constante le nerf fibulaire commun, elle est le meilleur point de départ pour son étude. M : muscle, NFC : nerf fibulaire commun.

## Coupe 4 : coupe axiale du nerf fibulaire commun lors de son entrée dans le tunnel fibulaire

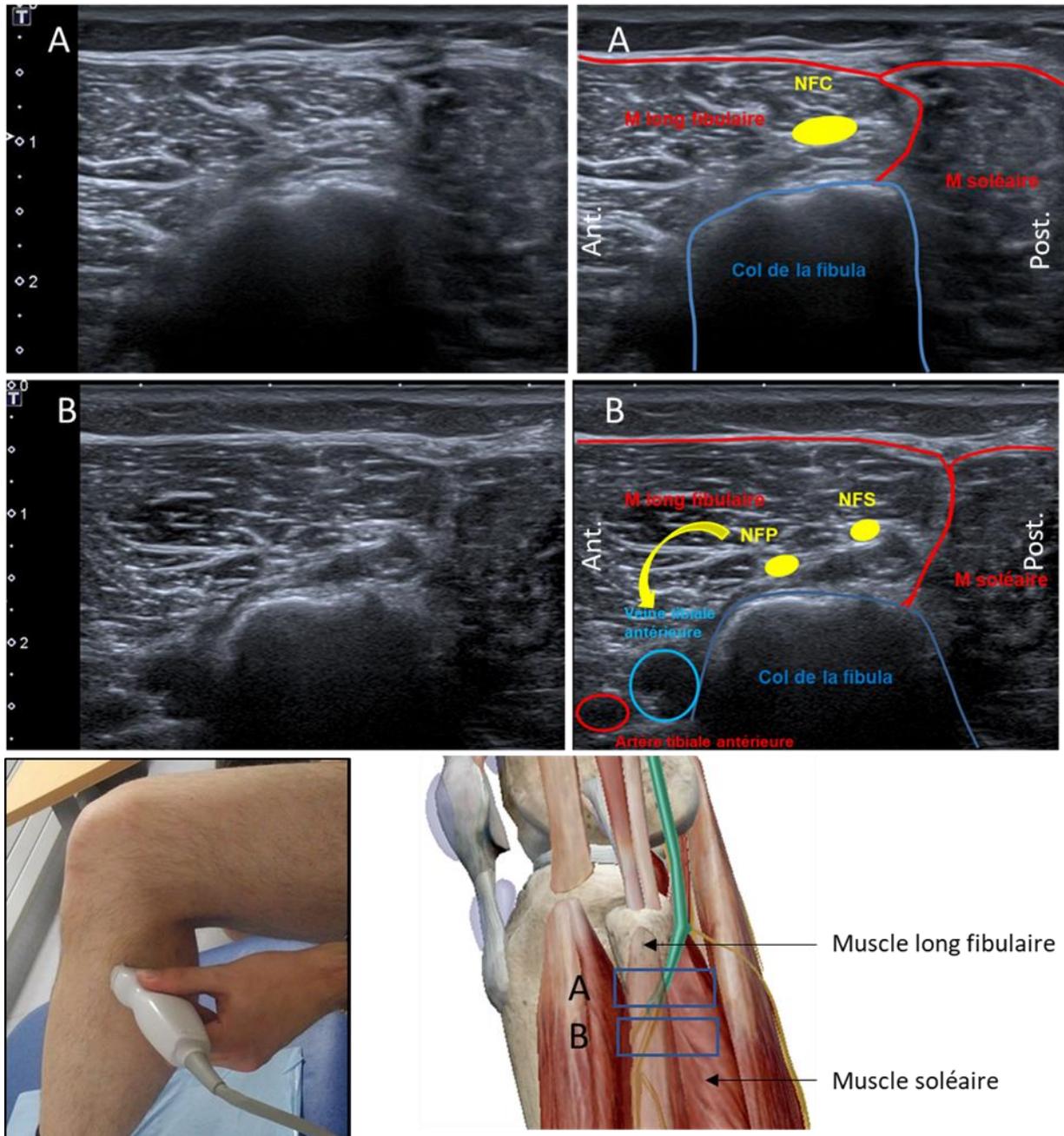
Lors de son parcours à proximité de la fibula, il traverse le septum intermusculaire crural postérieur pour rejoindre la loge latérale de la jambe et entrer dans le tunnel fibulaire.



**Aide :** le septum intermusculaire est le repère anatomique à identifier, il se situe entre le muscle soléaire et le muscle long fibulaire. M : muscle, NFC : nerf fibulaire commun.

## Coupe 5 : coupe axiale du nerf fibulaire commun lors de son passage de la loge postérieure vers la loge latérale

Dans la loge latérale, sous le muscle long fibulaire, le nerf fibulaire commun se divise en une branche superficielle (nerf fibulaire superficiel) et une branche profonde (nerf fibulaire profond) qui va rejoindre l'artère tibiale antérieure.

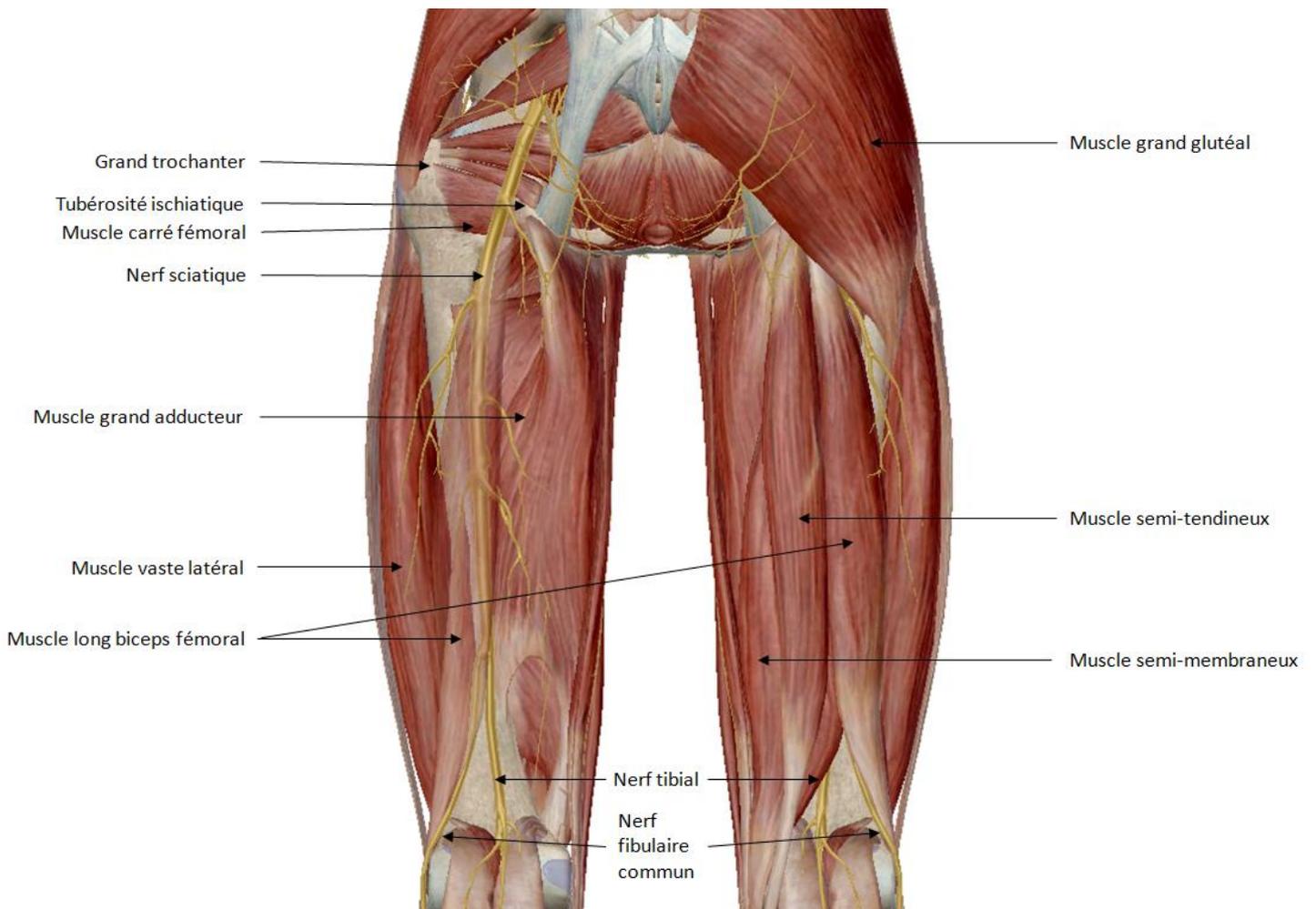


**Aide :** cette coupe est à réaliser dans la continuité de la coupe précédente. En effet, le nerf fibulaire commun se divise dès son passage dans la loge latérale. Il peut être très difficile de visualiser dans un même temps ses deux branches terminales car elles ne suivent pas un trajet parallèle. Le nerf fibulaire profond rejoint dès sa naissance l'artère tibiale antérieure en profondeur. M : muscle, NFP : nerf fibulaire profond, NFS : nerf fibulaire superficiel.

## Nerf 2 : nerf sciatique (NS)

### A) Généralités

Selon l'ancienne nomenclature, le nerf sciatique est également nommé nerf ischiatique ou nerf grand sciatique. Il naît du tronc lombosacral (L4-L5) et des racines S1, S2 et S3. Il s'agit d'un nerf de la face postérieure de la cuisse qui se divise au niveau du creux poplité ou du tiers inférieur de la cuisse pour donner le nerf tibial et le nerf fibulaire commun.



Malgré un calibre important, ce nerf reste difficile à explorer à l'échographie. Son étude dépend principalement de sa profondeur, de la sonde d'échographie et de l'échogénicité des muscles l'entourant.

Pour l'étude de ce nerf, nous proposons la réalisation de cinq coupes :

- coupe axiale du nerf sciatique au niveau de la tubérosité ischiatique (**optionnelle**),
- coupe axiale du nerf sciatique au niveau des tendons proximaux des ischio-jambiers,
- coupe axiale au niveau du tiers supérieur de la cuisse (**au choix\***),
- coupe longitudinale et axiale au niveau du tiers moyen de la cuisse (**au choix\***),
- coupe axiale au niveau de la division du nerf sciatique en nerf tibial et nerf fibulaire commun (**coupe de référence**).

**\* au choix** : nous vous proposons de réaliser une coupe axiale et longitudinale du nerf sciatique au niveau du tiers supérieur de la cuisse ou du tiers moyen de la cuisse.

Afin de favoriser le repérage de ces coupes et de mieux visualiser le parcours du nerf sciatique, nous proposons deux vidéographies :

- Vidéo 1 : trajet du nerf sciatique de la région de la fesse au tiers supérieur de la cuisse,
- Vidéo 2 : trajet du nerf sciatique dans la face postérieure de la cuisse.

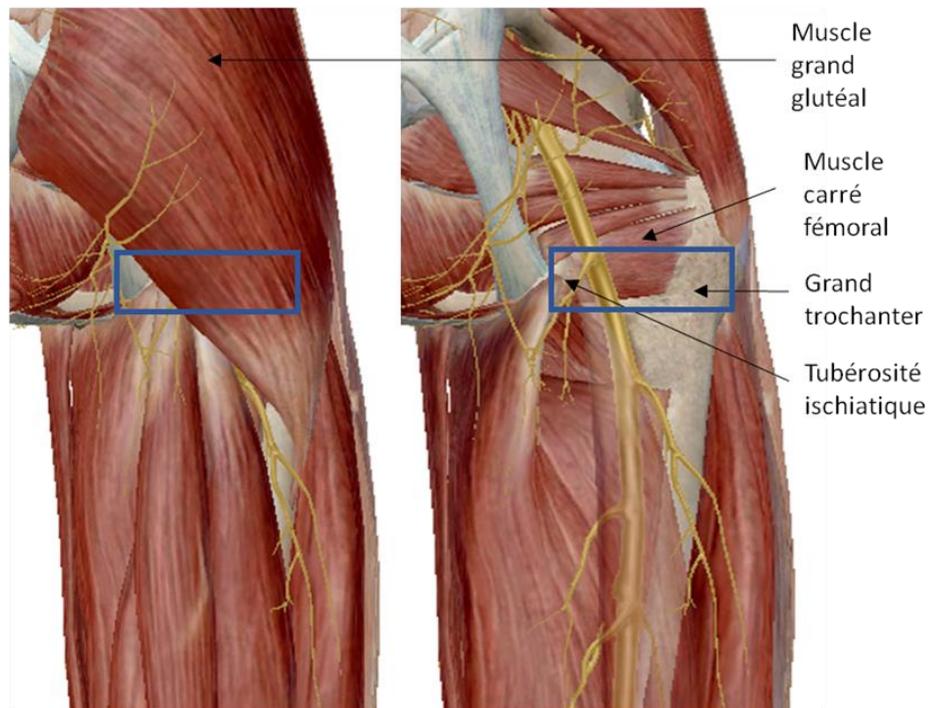
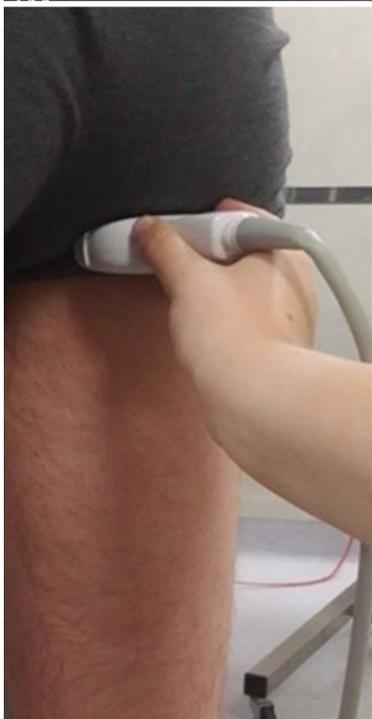
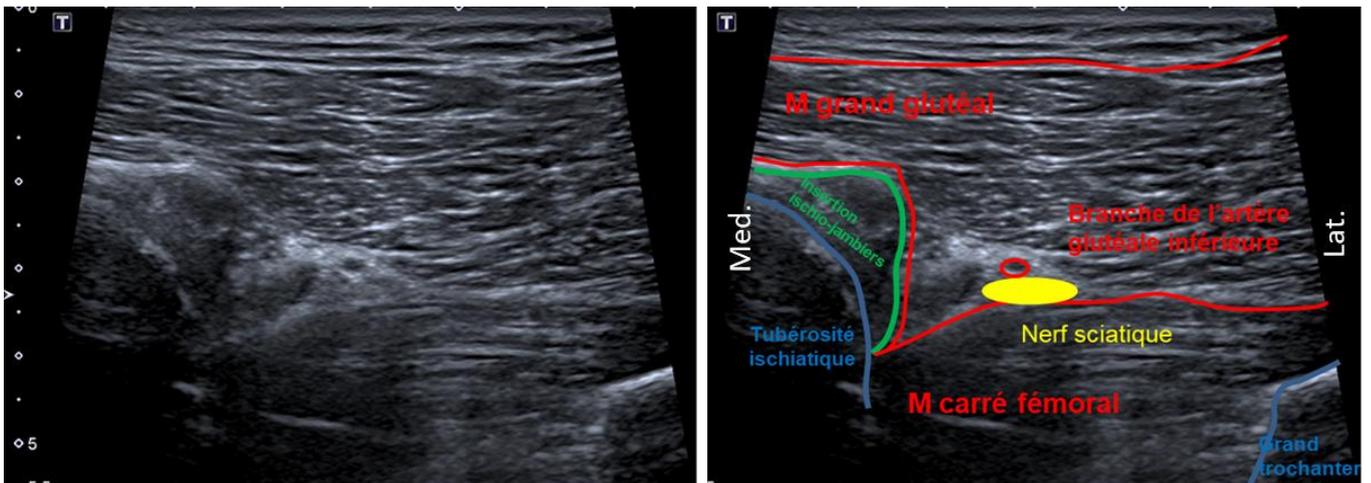
### C) Récapitulatif des coupes et leurs statuts

Numéro de coupe	titres	Statut	Commentaires
Coupe 1	coupe axiale du nerf fibulaire commun et du nerf tibial au niveau de la fosse poplitée	Obligatoire	
Coupe 2	<i>coupe axiale de la naissance de sa principale branche collatérale</i>	<i>Optionnel</i>	
<b>Coupe 3</b>	<b>coupe axiale du nerf fibulaire commun au niveau de la tête de la fibula (= coupe de référence)</b>	<b>Obligatoire</b>	
Coupe 4	coupe axiale du nerf fibulaire commun lors de son entrée dans le tunnel fibulaire	Obligatoire	
Coupe 5	<i>coupe axiale au niveau de la division en nerf fibulaire superficiel et nerf fibulaire profond au niveau du col de la fibula</i>	<i>Optionnel</i>	

## B) Coupes et anatomie

Coupe 1 : coupe axiale du nerf sciatique à proximité de la tubérosité ischiatique.

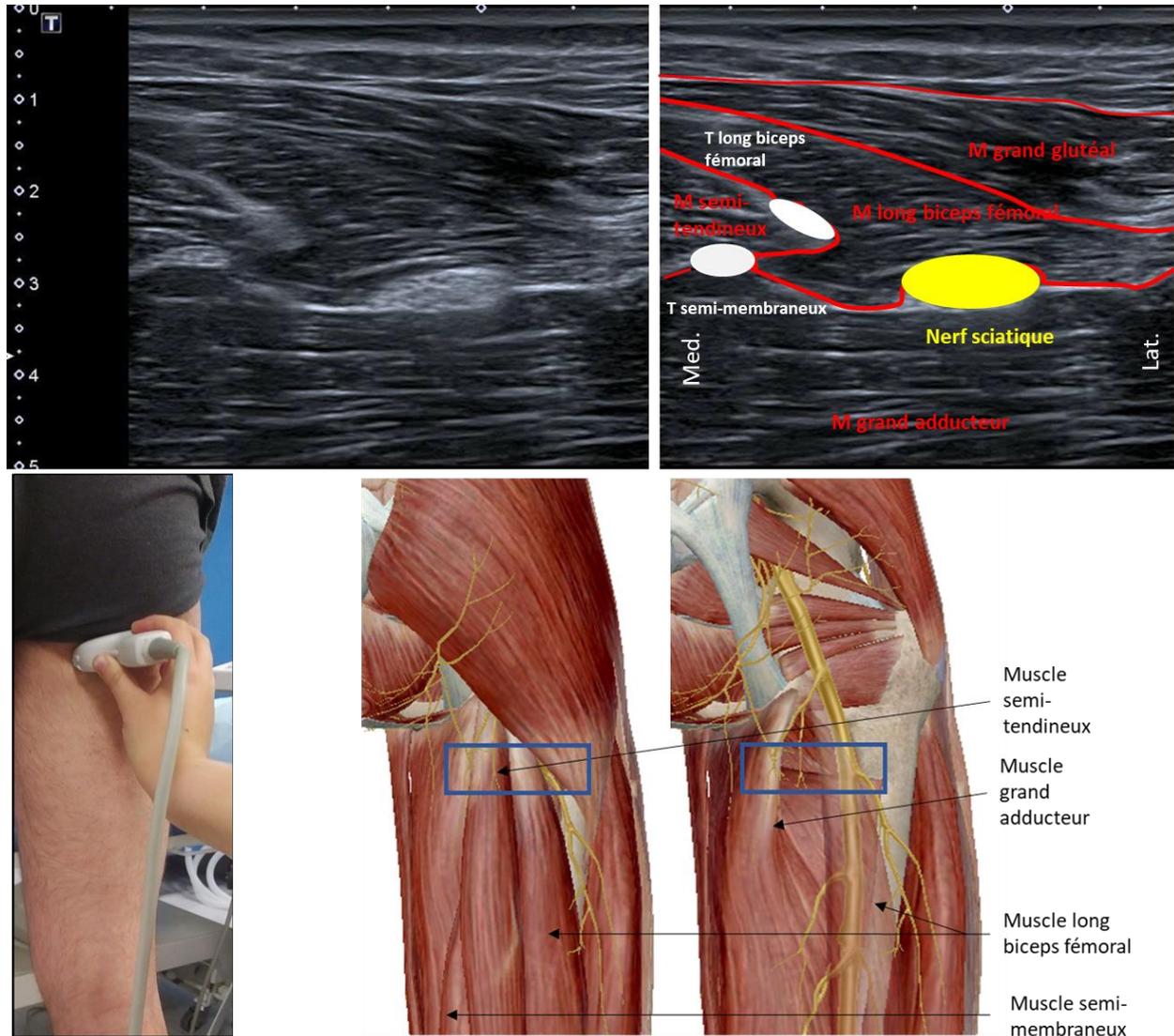
Le nerf sciatique rejoint la région fessière par le foramen infra-piriforme (sous le muscle piriforme). Il traverse la fesse sous le muscle grand glutéal en passant entre la tubérosité ischiatique et le grand trochanter ou il rejoint l'artère glutéale inférieure et ses branches.



**Aide : durant son parcours proximal le nerf sciatique reste profond, le plus simple pour le repérer est d'utiliser une vue en mode trapèze (utilisé pour la coupe ci-dessus), voir une sonde de basse fréquence. Le repère anatomique pour cette coupe est un repère palpable : la tubérosité ischiatique. M : muscle.**

## Coupe 2 : coupe axiale du nerf sciatique au niveau des tendons proximaux des ischiojambiers

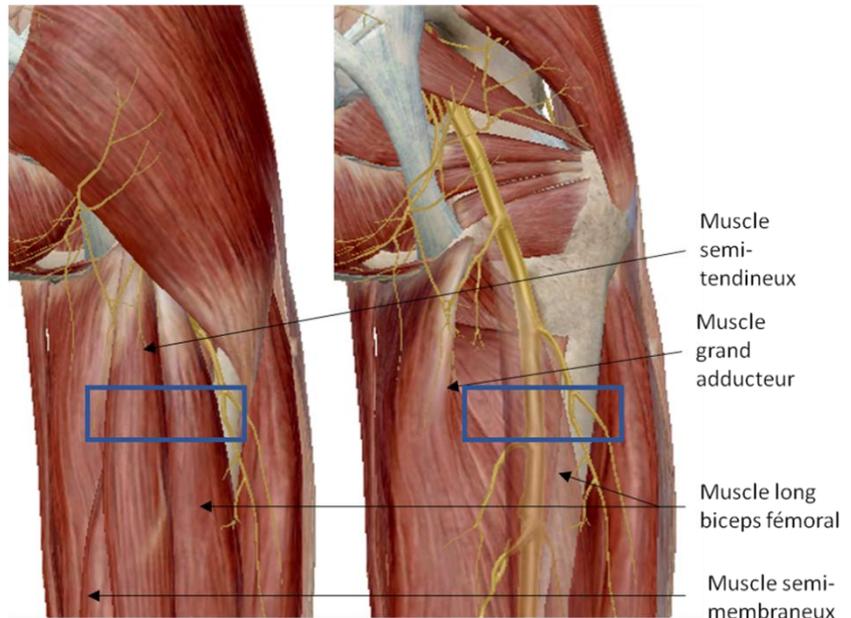
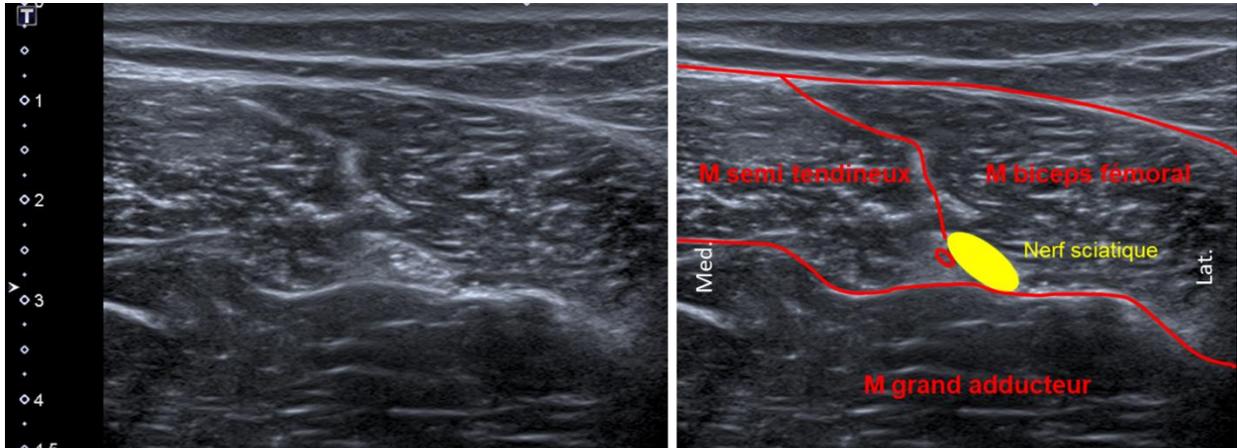
Il descend dans la face postérieure de la cuisse en cheminant à proximité des tendons des ischio-jambiers sous le muscle biceps fémoral.



**Aide :** pour la réalisation de cette coupe, une possibilité est de remonter le muscle biceps fémoral jusqu'à l'apparition de son tendon proximal. Le tendon du semi-membraneux présente un aspect aplati. Le nerf sciatique, le tendon du chef long du biceps fémoral et le tendon du semi-membraneux apparaissent comme trois structures arrondies hyperéchogènes formant parfois un triangle permettant de les repérer. **M :** muscle, **T :** tendon.

### Coupe 3 : coupe axiale du nerf sciatique au tiers supérieur de la cuisse

Il poursuit son parcours dans le tiers supérieur de la cuisse en cheminant entre le muscle du long biceps fémoral, et le semi tendineux au-dessus du grand adducteur.

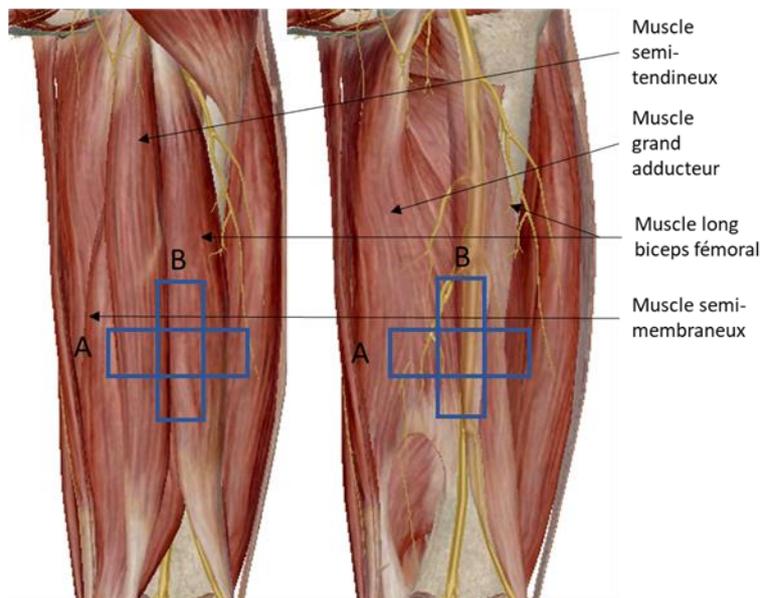
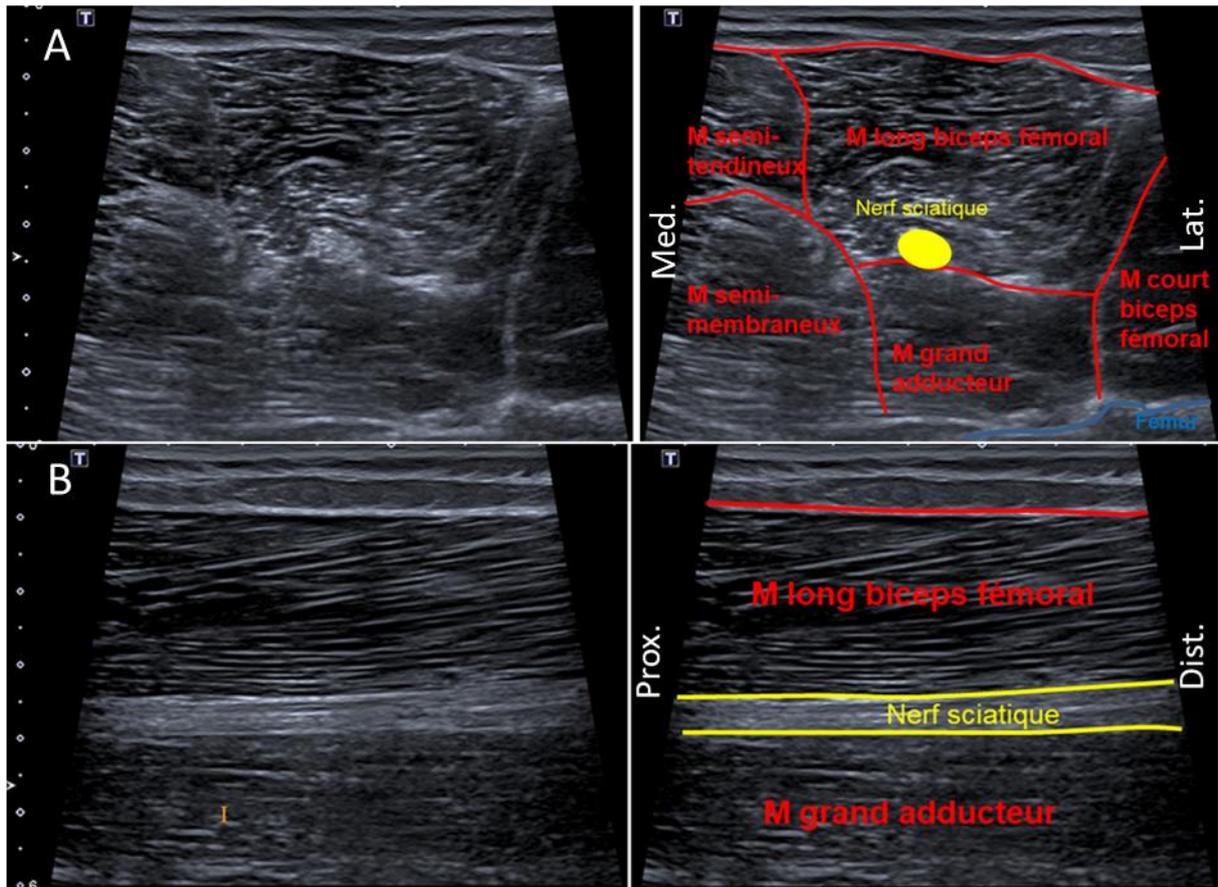


**Aide : le nerf sciatique est repérable au centre d'un triangle anatomique formé pour le semi-tendineux, le long biceps fémoral et le grand adducteur. M : muscle.**

Durant son parcours, il donne différentes collatérales :

- nerfs articulaires du genou,
- nerfs supérieur et inférieur du muscle semi-tendineux,
- nerf du semi-membraneux,
- nerf du chef long du biceps fémoral,
- nerf du chef court du biceps fémoral,
- nerf du 3ème faisceau du grand adducteur.

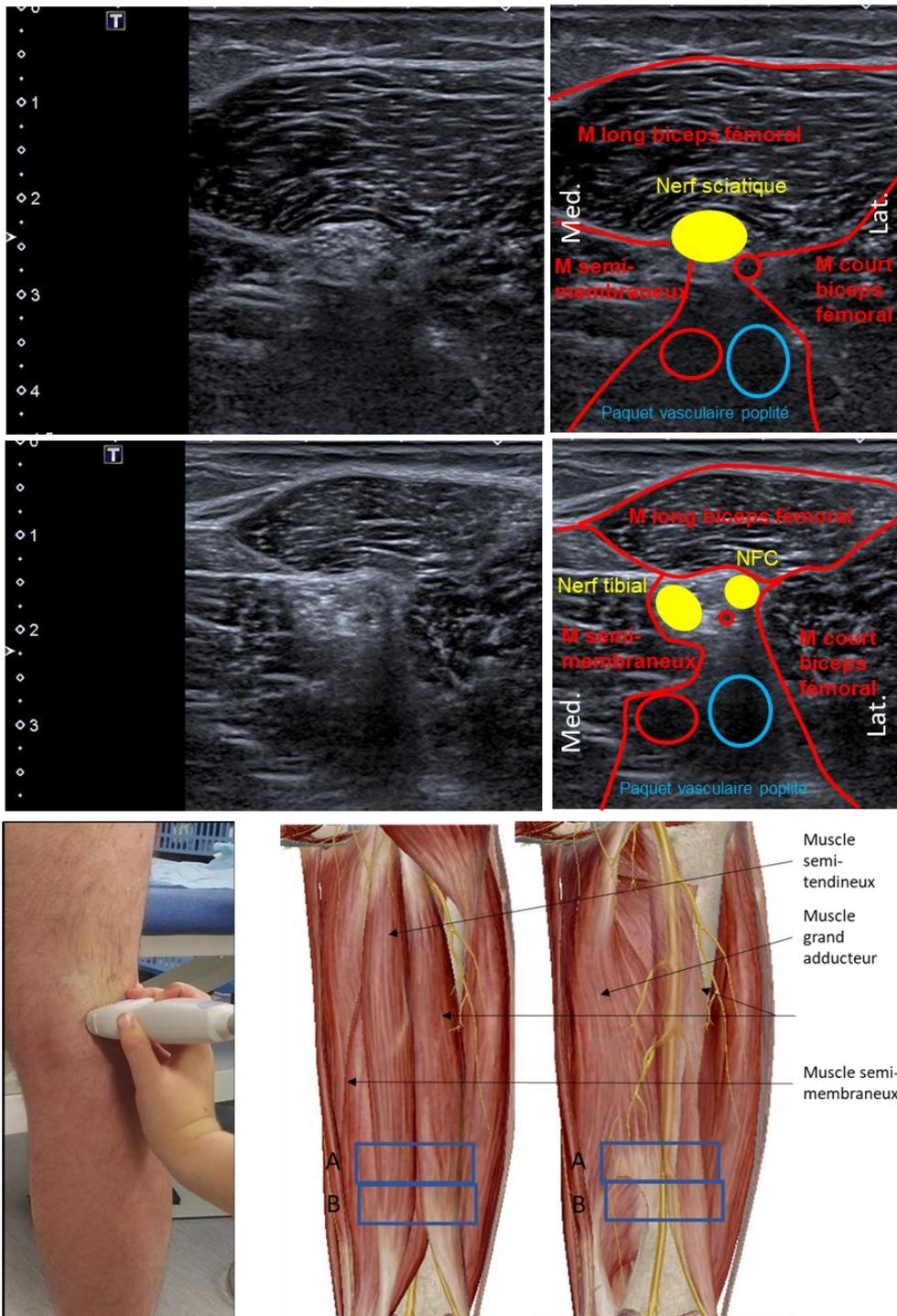
Coupe 4 : coupe axiale et longitudinale du nerf sciatique au tiers moyen de la cuisse : rapport avec les muscles ischiojambiers



*Aide : en fonction de la profondeur du nerf et notamment de l'épaisseur de la graisse sous cutanée, la visualisation du nerf sciatique peut être difficile. La coupe longitudinale devient une aide précieuse pour confirmer la présence du nerf. M : muscle.*

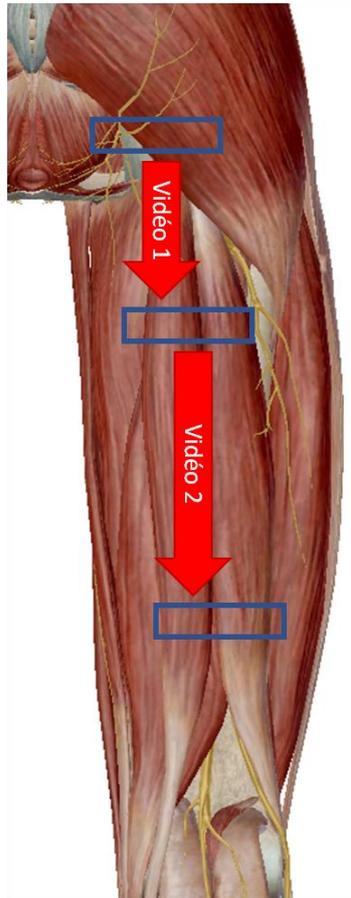
## Coupe 5 : coupe axiale de la division du nerf sciatique en nerf tibial et nerf fibulaire commun (coupe de référence)

Il se divise au-dessus du creux poplité en avant muscle long biceps fémoral en nerf tibial et fibulaire commun.



**Aide :** Le muscle long biceps fémoral est un bon repère. Le nerf sciatique est retrouvé de façon quasi constante en regard de sa face profonde. Concernant le niveau de sa division, il varie en fonction des individus. La méthode la plus simple pour l'identifier reste la technique de l'ascenseur (soit en remontant à partir du nerf tibial, soit en descendant à partir du nerf sciatique repéré de façon plus proximale). M : muscle, NFC : nerf fibulaire commun.

## C) Vidéographies



Vidéo 1 : trajet du nerf sciatique de la région de la fesse au tiers supérieur de la cuisse,  
Vidéo 2 : trajet du nerf sciatique dans la face postérieure de la cuisse.

Lien pour l'accès aux vidéographies :

<https://www.dropbox.com/sh/c197l74zhl2he0v/AABNP2Qb-aTM1vrqGovUNnMMa?dl=0>

## D) Fonctions

Le nerf sciatique est un nerf mixte.

Concernant sa fonction motrice, il innerve directement :

- le muscle semi-tendineux,
- le muscle semi-membraneux,
- le biceps fémoral,
- et le 3ème faisceau du grand adducteur.

Concernant sa fonction sensitive, il innerve directement l'articulation du genou. Le reste de ses innervations motrices et sensibles sont en lien avec ses branches terminales (nerf fibulaire commun et nerf tibial).

## E) Récapitulatif des coupes et leurs statuts

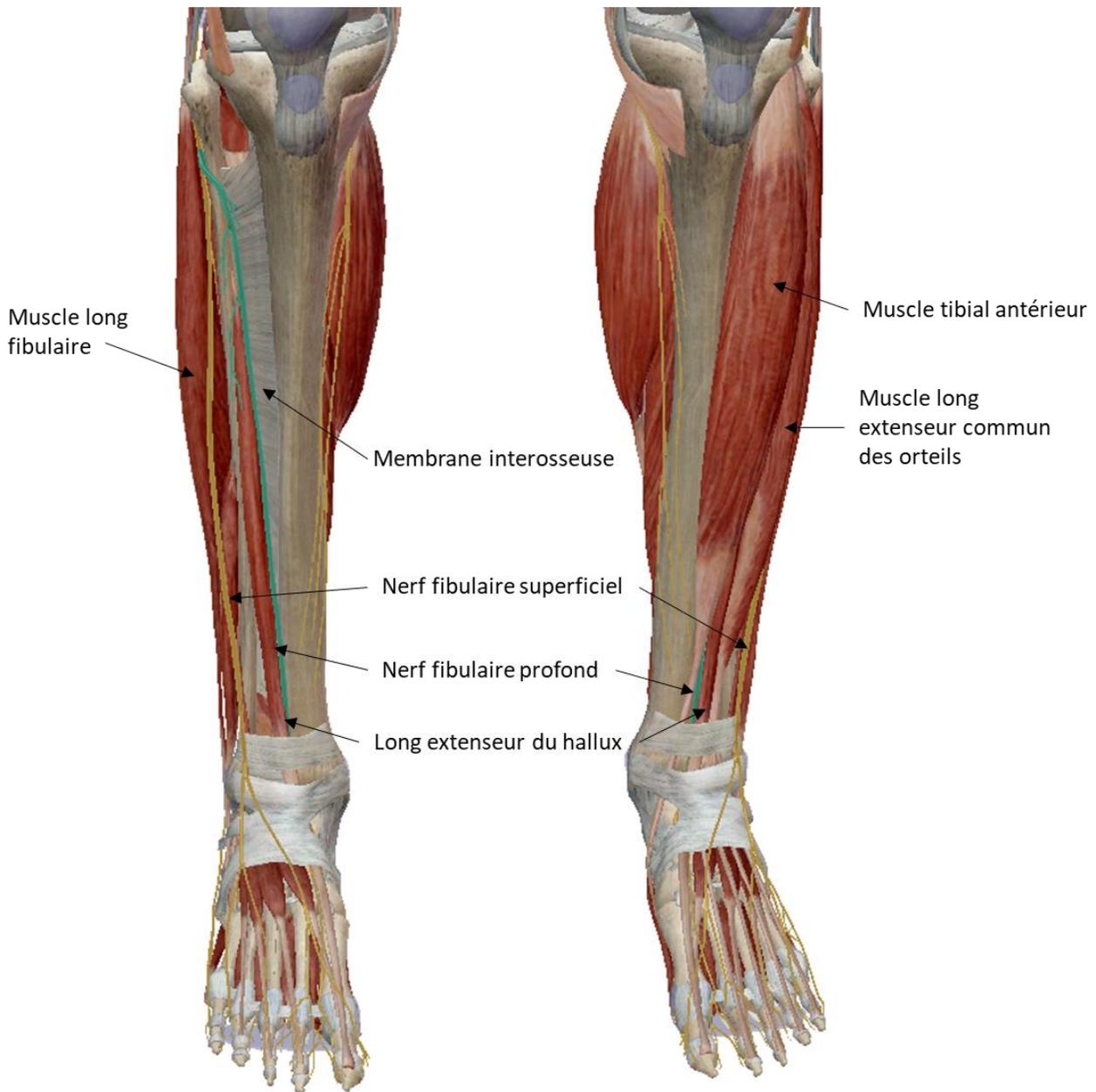
Numéro de coupe	titres	Statut	Commentaires
Coupe 1	<i>coupe axiale du nerf sciatique à proximité de la tubérosité ischiatique</i>	<i>Optionnel</i>	
Coupe 2	coupe axiale du nerf sciatique au niveau des tendons proximaux des ischiojambiers	obligatoire	
Coupe 3	coupe axiale et longitudinale du nerf sciatique au tiers supérieur de la cuisse	au choix: coupe 3 ou 4	
Coupe 4	coupe axiale et longitudinale du nerf sciatique au tiers moyen de la cuisse : rapport avec les muscles ischiojambiers	au choix: coupe 3 ou 4	
<b>Coupe 5</b>	<b>coupe axiale de la division du nerf sciatique en nerf tibial et nerf fibulaire commun (coupe de référence)</b>	<b>obligatoire</b>	

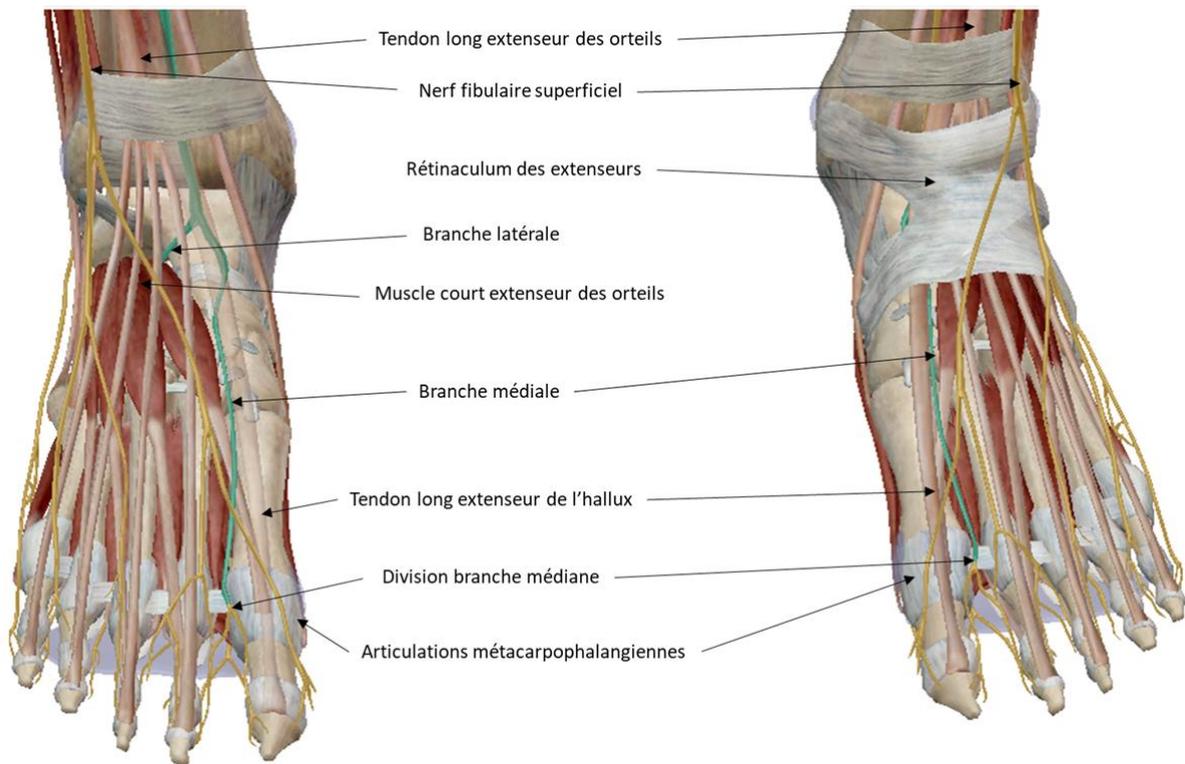
## Nerf 3 : nerf fibulaire profond (NFP)

### A) Généralités

Selon l'ancienne nomenclature, le nerf fibulaire profond est également nommé « nerf tibial antérieur ou nerf péronier profond.

Il naît de la division du nerf fibulaire commun en nerf fibulaire superficiel et profond. Il descend dans la loge antérieure de jambe en avant de la membrane interosseuse et satellite de l'artère tibiale antérieure jusqu'à la face dorsale de la cheville pour se diviser en deux branches finales (médiale et latérale).





En apprenant à repérer le nerf fibulaire profond, vous débutez l'apprentissage de l'étude des nerfs de petit de calibre. Concernant l'étude de ses branches terminales, la plus intéressante est la branche médiale. En effet, les pathologies de la branche latérale restent exceptionnelles.

Pour l'étude de ce nerf, nous proposons la réalisation de six coupes :

- Coupe axiale de la division du nerf fibulaire commun en nerf fibulaire profond et superficiel (**optionnelle**),
- Coupe axiale et longitudinale du nerf fibulaire profond à la cheville (**coupe de référence**),
- Coupe longitudinale du nerf fibulaire profond au-dessus de l'articulation talocrurale (**optionnelle**),
- Coupe axiale de la division du nerf fibulaire profond en branche latérale et médiale et rapport avec la division de l'artère tibiale antérieure,
- Coupe axiale du passage de la branche médiale sous le muscle court extenseur des orteils,
- Coupe axiale de la division de la branche médiale en nerf digital dorsal latéral de l'hallux (NDDLH) et digital dorsal médial du 2<sup>ème</sup> orteil (NDDM2O) (**optionnelle**).

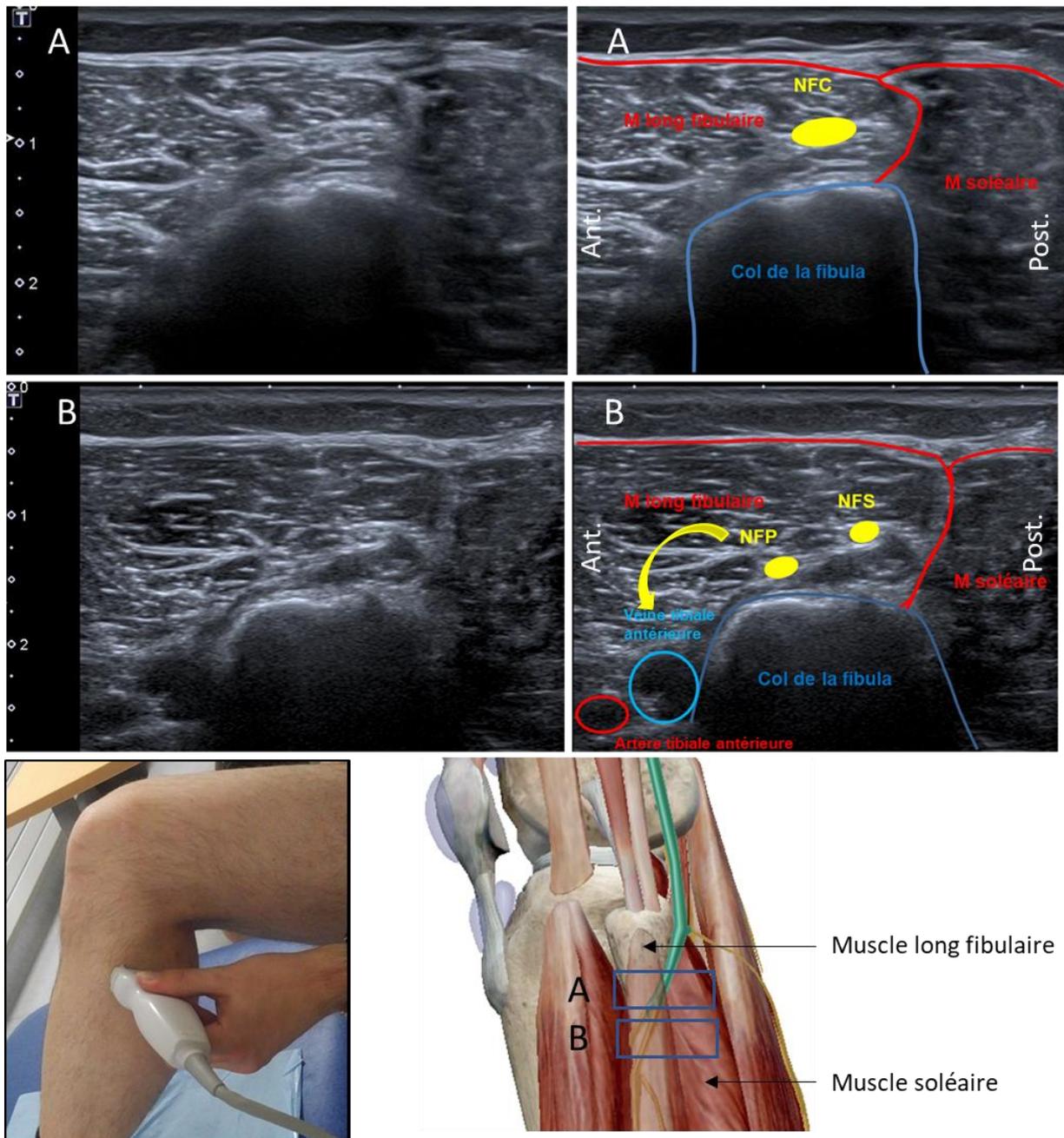
Afin de favoriser le repérage de ses coupes et de mieux visualiser le parcours du nerf fibulaire profond, nous proposons deux vidéographies :

- Trajet du nerf fibulaire profond du tiers inférieur de la jambe jusqu'à sa division en branche latérale et médiale,
- Trajet de la branche médiale du nerf fibulaire profond jusqu'à sa division en nerf digital dorsal latéral de l'hallux et digital dorsal médial du 2<sup>ème</sup> orteil.

## B) Coupes et anatomie

### Coupe 1 : coupe axiale de la division du nerf fibulaire commun

Le nerf fibulaire profond naît en dessous du muscle long fibulaire en regard du col de la fibula avant de passer sous le long extenseur commun des orteils pour rejoindre l'artère tibiale antérieure dans la loge antérieure de la jambe en avant de la membrane interosseuse.

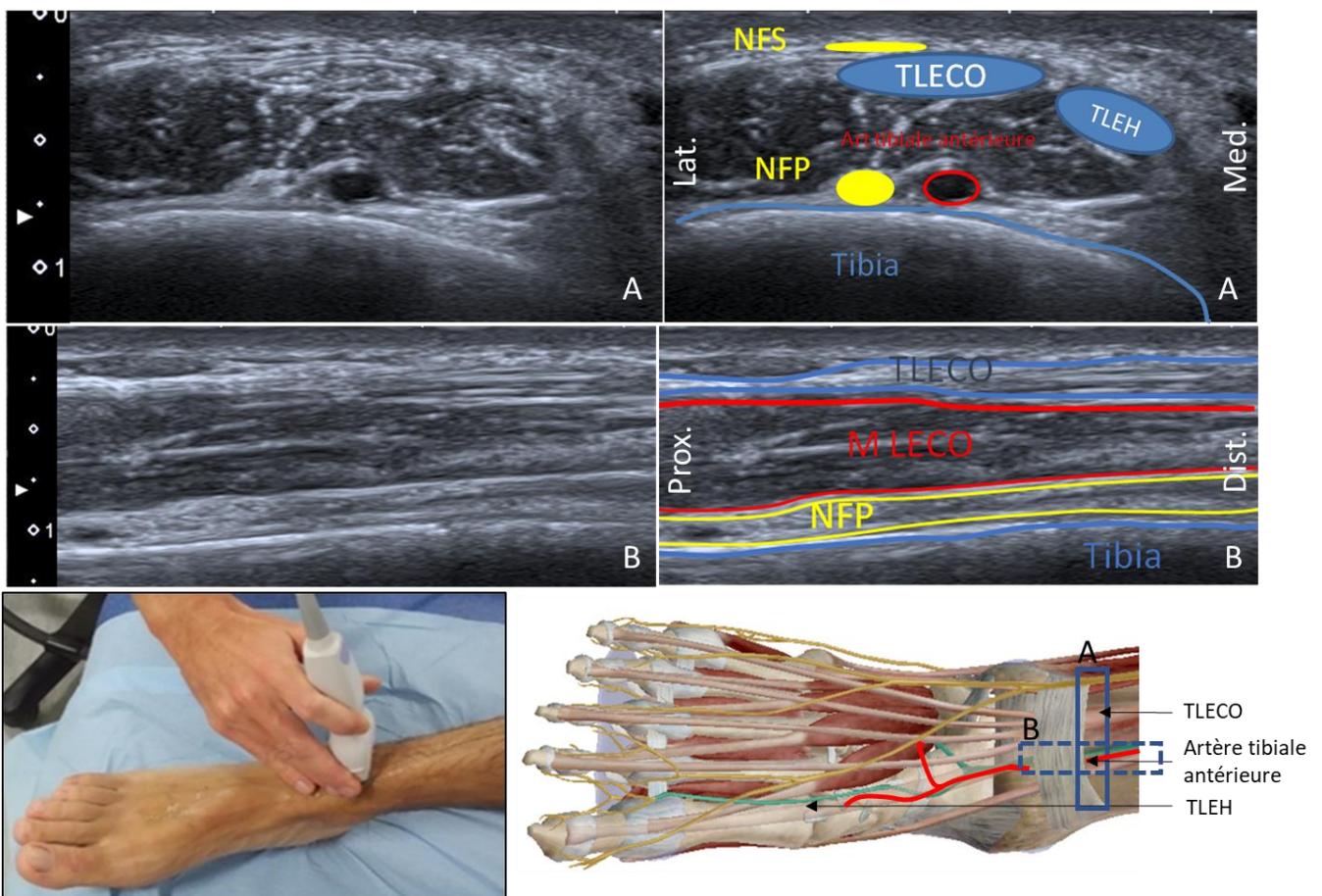


**Aide :** le plus simple pour la réalisation de cette coupe est de repérer le nerf fibulaire commun au niveau de la tête fibulaire et de le suivre jusqu'à sa division (voir « nerf fibulaire commun »). M : muscle, NFC : nerf fibulaire commun, NFS : nerf fibulaire superficiel, NFP : nerf fibulaire profond.

## Coupe 2 : coupe axiale et longitudinale du nerf fibulaire profond à la cheville (coupe de référence)

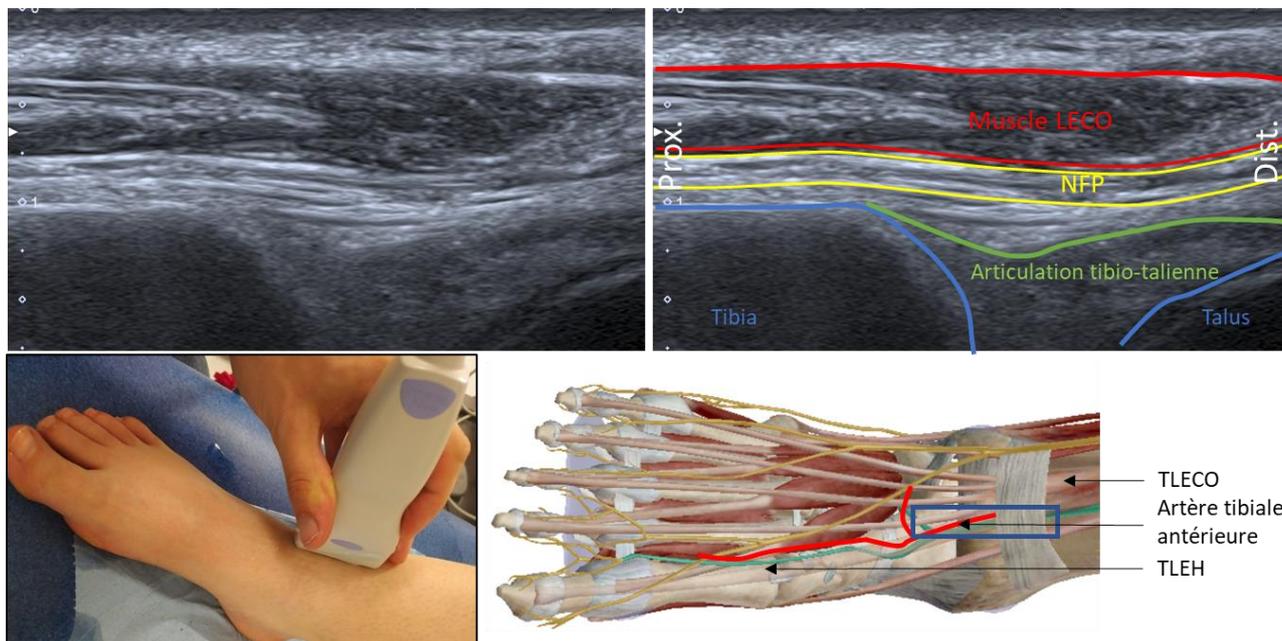
Il suit l'artère tibiale antérieure (le plus souvent sur sa face latérale) sous le muscle et tendon du long extenseur commun des orteils. Durant son parcours ils donnent plusieurs collatérales :

- nerf du muscle tibial antérieur,
- nerf du long extenseur de l'hallux,
- nerf du long extenseur des orteils,
- nerf du troisième muscle fibulaire (si présent)
- et un rameau pour l'articulation talocrurale (ou tibio-talienne).



**Aide :** l'artère tibiale antérieure est le repère le plus simple et le plus constant pour l'étude du nerf fibulaire profond à la cheville. Celui-ci se situe de manière habituelle sur son côté latéral. MLECO : muscle long extenseur commun des orteils, TLECO : tendon du long extenseur commun des orteils, TLEH : tendon du long extenseur du hallux, NFP : nerf fibulaire profond, nerf fibulaire superficiel.

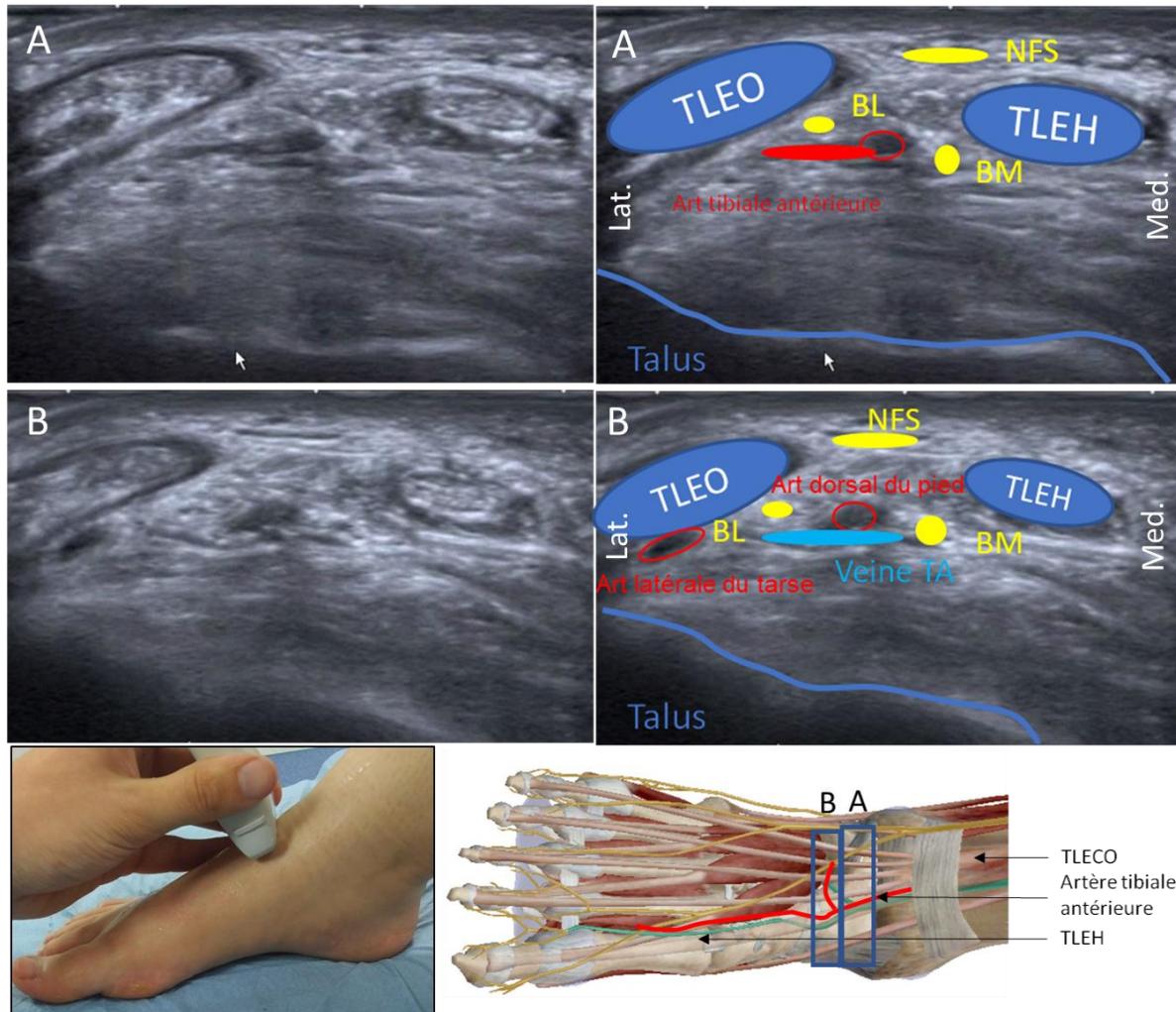
### Coupe 3 : coupe longitudinale du nerf fibulaire profond au-dessus de l'articulation talo-crurale



**Aide :** pour réaliser cette coupe, le plus simple est de partir de la coupe précédente et de suivre le nerf fibulaire profond de façon axiale ou longitudinale jusqu'à visualiser l'articulation tibio-talienne. NFP : nerf fibulaire profond, LECO : long extenseur commun des orteils.

## Coupe 4 : coupe axiale de la division du nerf fibulaire profond en branche médiale et latérale/ rapport avec la division de l'artère tibiale antérieure

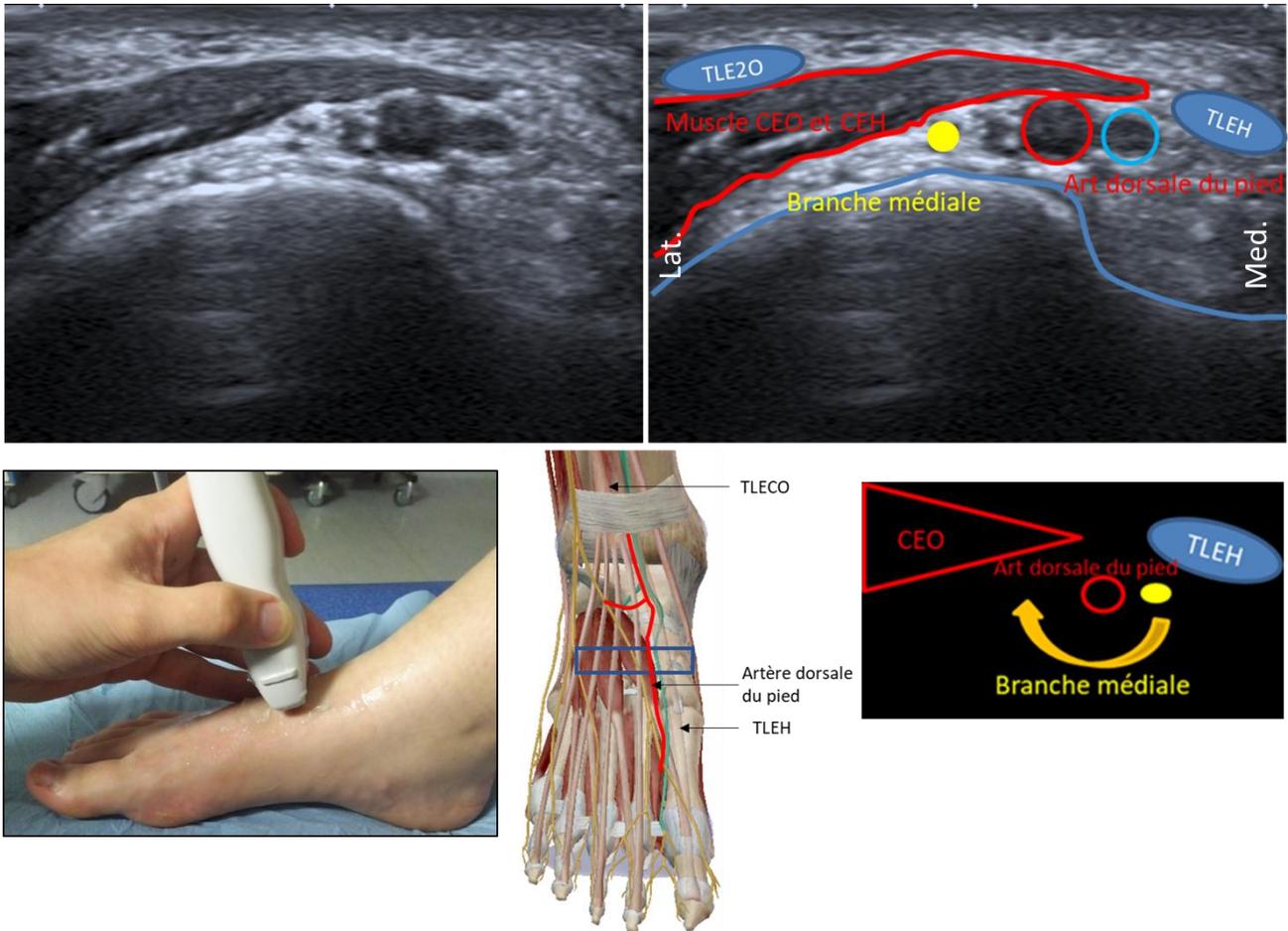
Il se divise en deux branches terminales, le plus souvent en dessous du retinaculum des extenseurs : branche médiale et latérale. Ces deux branches se retrouvent de part et d'autre de l'artère dorsale du pied (artère pédieuse). La branche latérale passe sous le tendon du long extenseur des orteils pour traverser le muscle court extenseur des orteils (qu'il innerve). Il donne plusieurs branches pour les articulations du tarse, les articulations métatarsophalangiennes des 2èmes, 3èmes et 4èmes orteils et le 2ème interosseux dorsal.



**Aide :** suivant l'échogénicité du sujet il peut être difficile de visualiser directement la division du nerf fibulaire profond. La technique la plus simple est la méthode de « l'ascenseur » à partir de la coupe précédente jusqu'à la division de l'artère tibiale antérieure. TLEO=TLECO : Tendon du long extenseur commun des orteils, TLEH : tendon long extenseur de l'hallux, BL : branche latérale, BM : branche médiale, Art : artère, NFS : nerf fibulaire superficiel.

## Coupe 5 : coupe axiale du passage de la branche médiale sous le court extenseur des orteils

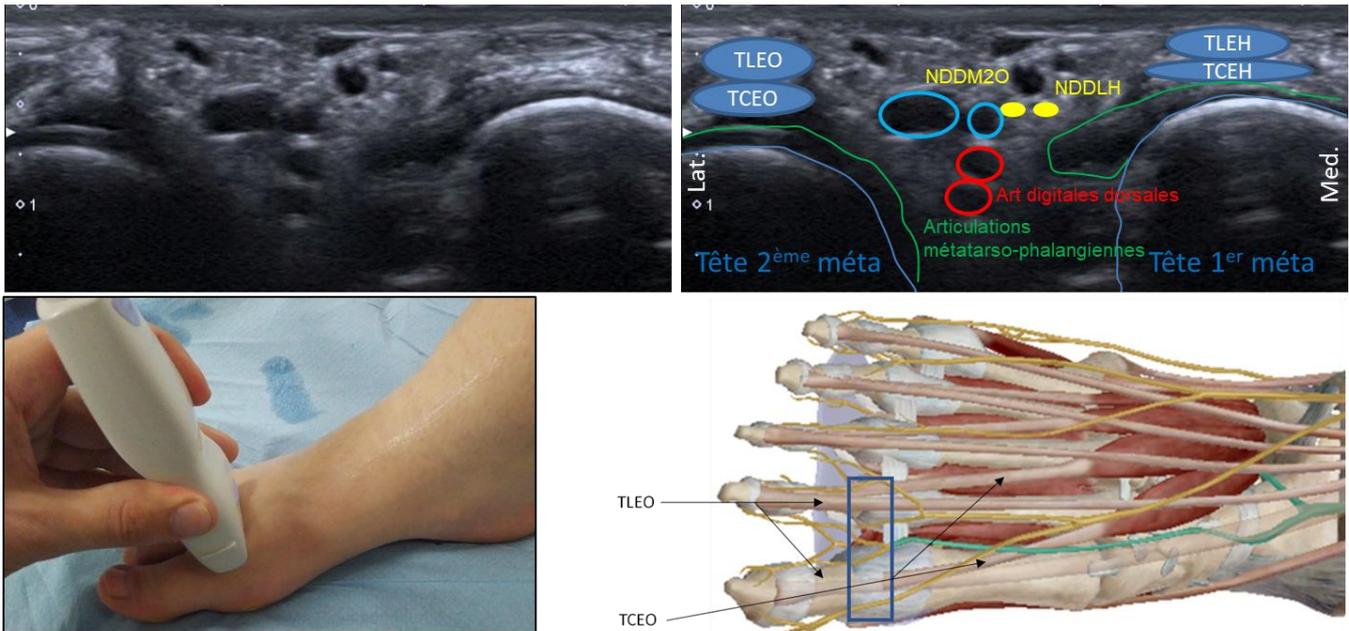
La branche médiale chemine entre le muscle court extenseur des orteils et le long extenseur du hallux avec l'artère dorsale du pied (artère pédieuse). La vascularisation de la face dorsale du pied est un bon repère pour l'étude de cette branche.



**Aide :** dans un premier temps, repérer l'aspect triangulaire du muscle court extenseur des orteils et l'artère dorsale du pied. En fonction de la taille de ce muscle le nerf peut se retrouver sous celui-ci ou directement entre celui-ci et le tendon du long extenseur des orteils (schéma en bas à droite). CEO : court extenseur des orteils, CEH : court extenseur de l'hallux, TLE20 : tendon du long extenseur du 2<sup>ème</sup> orteil, TLECO : tendon du long extenseur commun des orteils, TLEH : tendon du long extenseur de l'hallux, Art : artère.

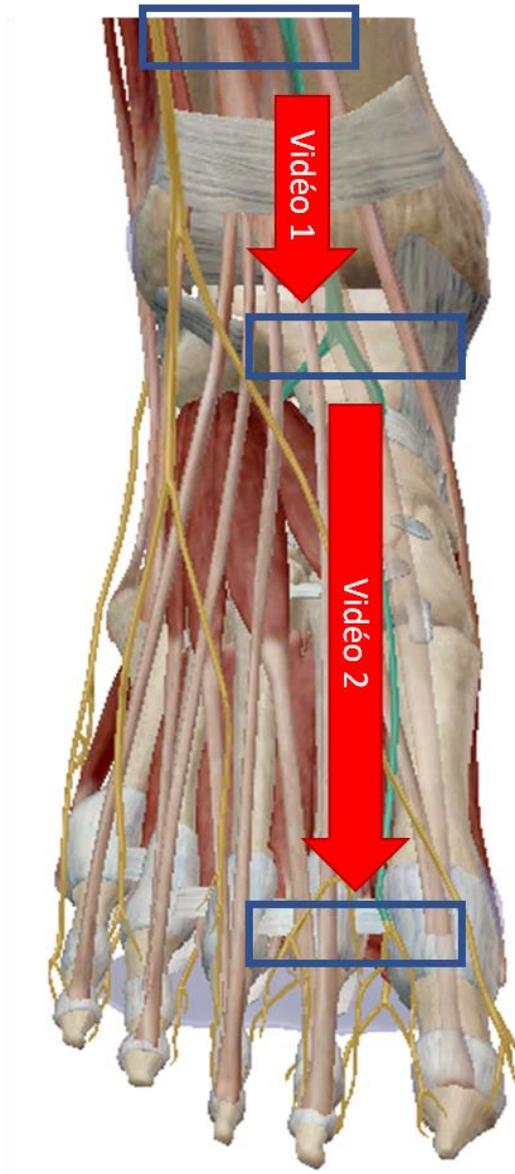
## Coupe 6 : Coupe axiale de la division de la branche médiale en nerf digital dorsal latéral de l'hallux (NDDLH) et digital dorsal médial du 2ème orteil (NDDM2O)

La branche médiale se termine en regard de la face antérieure du premier espace intermétatarsien par deux rameaux qui s'anastomosent avec les nerfs collatéraux dorsaux des orteils correspondant (issus du nerf fibulaire superficiel) : nerf digital dorsal latéral de l'hallux et nerf digital dorsal médial du deuxième orteil.



**Aide :** les branches terminales de la branche médiale restent superficielles et à proximité de la vascularisation. Les articulations métatarso-phalangiennes sont un bon repère pour rechercher cette division. TLEO : tendon du long extenseur propre d'un orteil, TCEO : tendon du court extenseur propre d'un orteil, TLEH : tendon du long extenseur de l'hallux, TCEH : tendon du court extenseur de l'hallux, Art : artère, méta : métatarsien, NDDM2O : nerf digital dorsal médial du 2<sup>ème</sup> orteil, NDDLH : nerf digital dorsal latéral de l'hallux.

### C) Vidéographies



Vidéo 1 : nerf du fibulaire profond du tiers inférieur de la jambe jusqu'à sa division en branche médiale et latérale.

Vidéo 2 : branche médiale jusqu'à sa division en nerf digital dorsal latéral de l'hallux (NDDLH) et digital dorsal médial du 2ème orteil (NDDM2O).

Lien pour l'accès aux vidéographies :

<https://www.dropbox.com/sh/c197I74zhI2he0v/AABNP2Qb-aTM1vrqGovUNnMMA?dl=0>

## D) Rappel des fonctions

Le nerf fibulaire profond est un nerf mixte.

Concernant sa fonction motrice, il innerve :

- le muscle tibial antérieur,
- le muscle long extenseur du hallux,
- le muscle long extenseur des orteils,
- le 3ème muscle fibulaire (si présent),
- le muscle court extenseur de l'hallux (branche latérale),
- le muscle court extenseur des orteils (branche latérale),
- le 2ème interosseux dorsal (branche latérale).
- 

Concernant sa fonction sensitive, il innerve :

- l'articulation du genou,
- l'articulation talo-crurale,
- le premier espace interdigital sur sa face dorsale (branche médiale),
- les articulations du tarse et métatarsophalangiennes des 2, 3 et 4ème orteils (branche latérale).

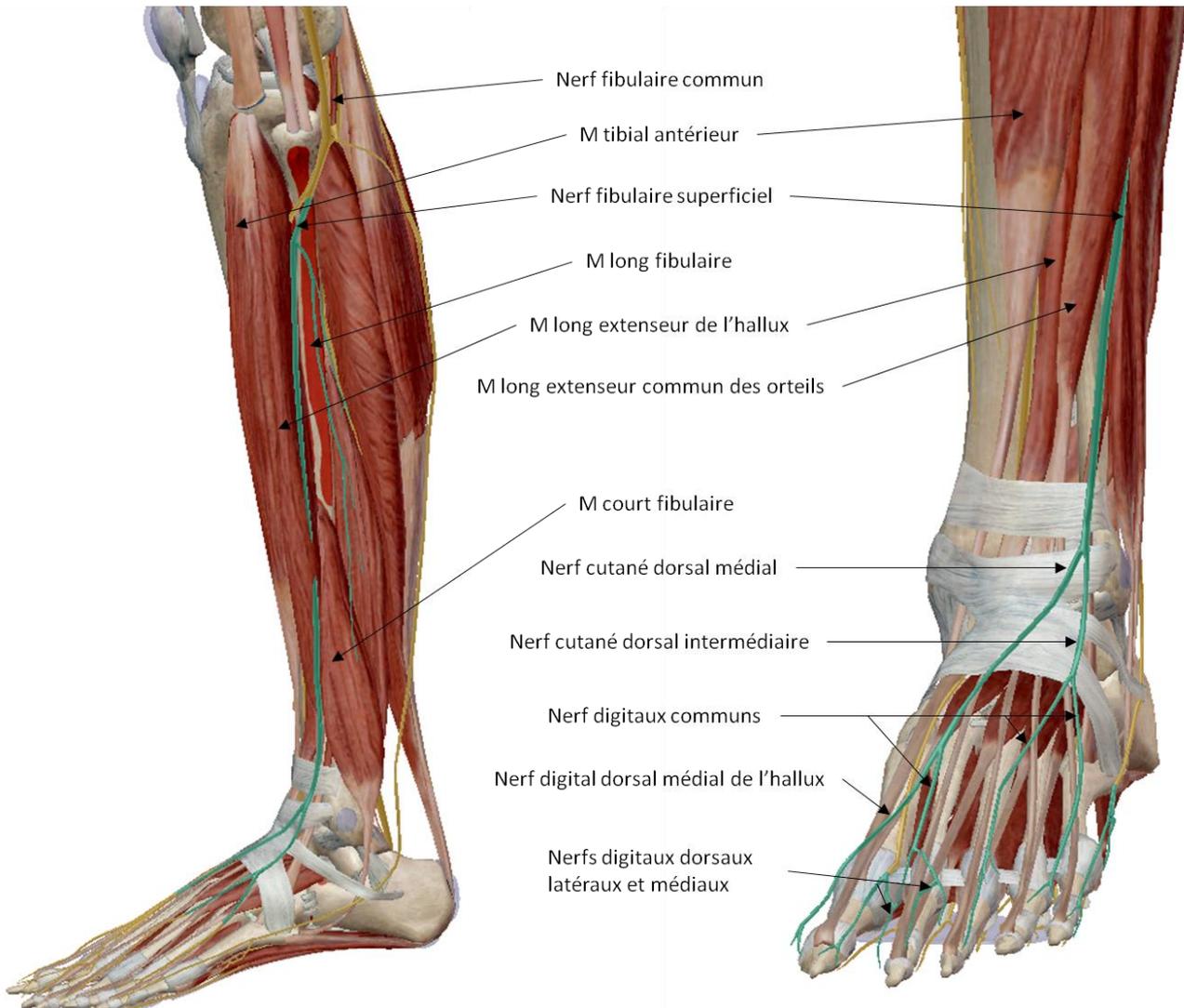
## E) Récapitulatif des coupes et leurs statuts

Numéro de coupe	titres	Statut	Commentaires
Coupe 1	<i>Coupe axiale de la division du nerf fibulaire commun en nerf fibulaire profond et superficiel</i>	<i>optionnel</i>	
<b>Coupe 2</b>	<b>Coupe axiale et longitudinale du nerf fibulaire profond à la cheville (coupe de référence)</b>	<b>Obligatoire</b>	
Coupe 3	<i>Coupe longitudinale du nerf fibulaire profond au-dessus de l'articulation talocrurale</i>	<i>optionnel</i>	
Coupe 4	Coupe axiale de la division du nerf fibulaire profond en branche latérale et médiale et rapport avec la division de l'artère tibiale antérieure	Obligatoire	
Coupe 5	Coupe axiale du passage de la branche médiale sous le muscle court extenseur des orteils	Obligatoire	
Coupe 6	<i>Coupe axiale de la division de la branche médiale en nerf digital dorsal latéral de l'hallux (NDDLH) et digital dorsal médial du 2ème orteil (NDDM20)</i>	<i>optionnel</i>	

## Nerf 4 : nerf fibulaire superficiel (NFS)

### A) Généralités

Selon l'ancienne nomenclature, le nerf fibulaire superficiel est également nommé « nerf péronier superficiel » ou « nerf musculocutané de la jambe ». Il naît de la division du nerf fibulaire commun en nerf fibulaire superficiel et profond. Il descend dans la loge latérale de la jambe jusqu'à la face dorsale de la cheville pour se diviser en deux branches (nerf cutané dorsal intermédiaire et nerf cutané dorsal médial).



Pour l'étude de ce nerf, nous proposons la réalisation de six coupes :

- coupe axiale de la naissance du nerf fibulaire superficielle par la division du nerf fibulaire commun **(optionnelle)**,
- coupe axiale de l'émergence du nerf fibulaire superficiel au tiers distal de la jambe **(coupe de référence)**,
- coupe axiale du nerf fibulaire superficiel (ou du nerf cutané dorsal médial) à la cheville et rapport avec le tendon du long extenseur commun des orteils,
- coupe axiale de la division (basse ou haute) du nerf fibulaire superficiel en nerf cutané dorsal médial et nerf cutané dorsal intermédiaire,
- coupe axiale de la division du nerf cutané dorsal médial en nerf digital dorsal du hallux et 2<sup>ème</sup> nerf digital dorsal commun **(optionnelle)**,
- coupe axiale de la division du nerf cutané dorsal intermédiaire en 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> nerf digital dorsal commun **(optionnelle)**.

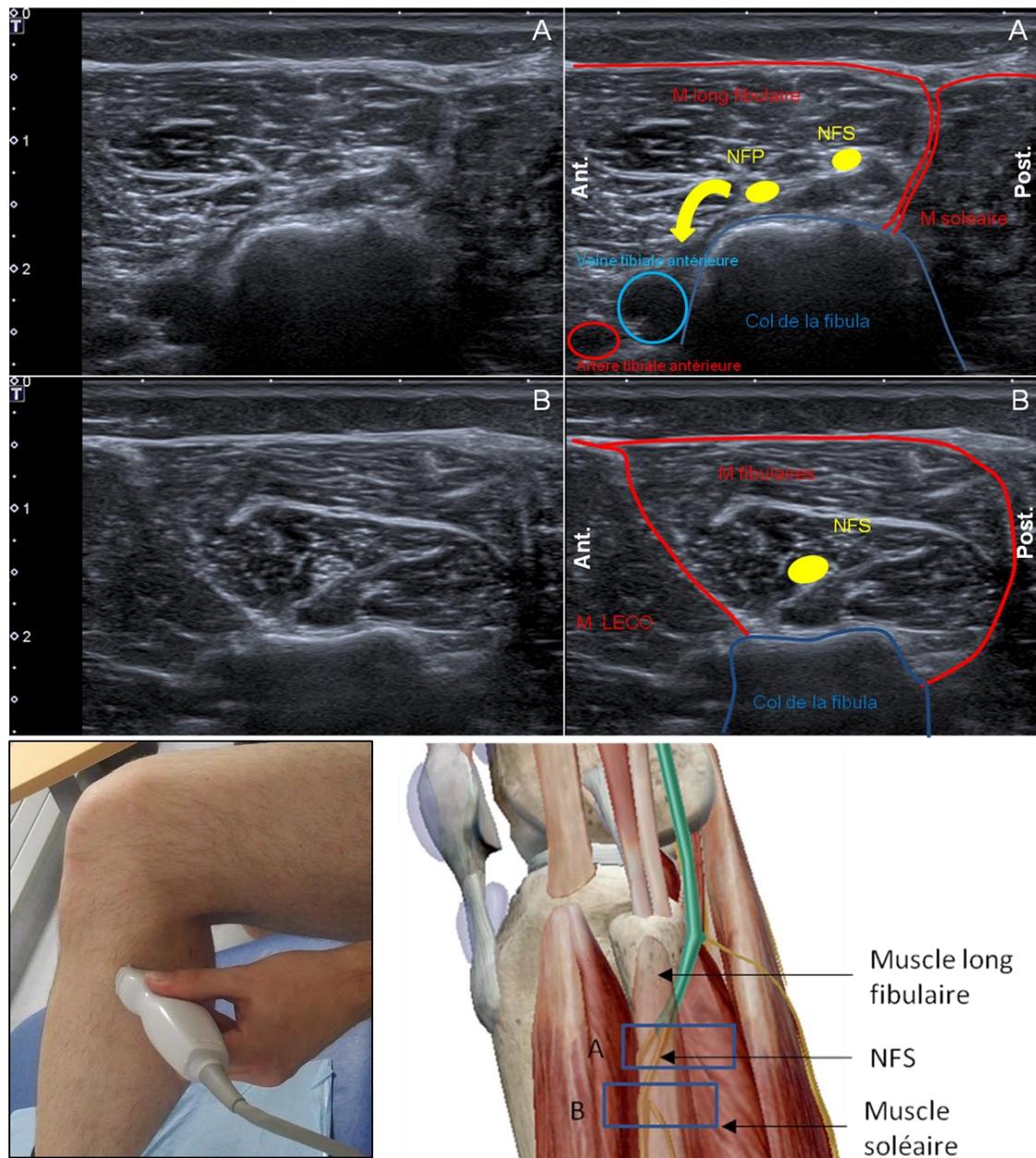
Afin de favoriser le repérage de ses coupes et de mieux visualiser le parcours du nerf fibulaire profond, nous proposons quatre vidéographies :

- trajet du nerf fibulaire commun jusqu'à l'émergence du nerf fibulaire superficiel au tiers inférieur de la jambe,
- trajet du nerf fibulaire du tiers inférieur de la jambe jusqu'à sa division (basse) en nerf cutané dorsal médial et intermédiaire,
- trajet du nerf cutané dorsal intermédiaire jusqu'à sa division en 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> nerf digital dorsal commun,
- trajet du nerf cutané dorsal médial jusqu'à sa division en nerf digital dorsal du hallux et 2<sup>ème</sup> nerf digital dorsal commun.

## B) Coupes et anatomie

### 1) Coupe 1 : coupe axiale de la naissance du nerf fibulaire superficielle par la division du nerf fibulaire commun

Le nerf fibulaire superficiel naît dans la loge latérale de la jambe de la division du nerf fibulaire commun. Le nerf fibulaire profond plonge pour rejoindre l'artère tibiale antérieure et la loge antérieure. Le nerf fibulaire superficiel chemine dans la loge latérale (tunnel fibulaire) avant de devenir superficiel.



**Aide :** le nerf fibulaire commun se divise dès son passage dans la loge latérale. Il peut être très difficile de visualiser dans un même temps ses deux branches terminales car elles ne suivent pas un trajet parallèle. Le nerf fibulaire profond rejoint dès sa naissance l'artère tibiale antérieure en profondeur. Le nerf fibulaire superficiel reste bien visible lorsque l'on suit le col de la fibula. M : muscle, NFS : nerf fibulaire superficiel, NFP : nerf fibulaire profond, LECO : long extenseur commun des orteils.

## 2) Coupe 2 : coupe axiale de l'émergence du nerf fibulaire superficiel au tiers distal de la jambe

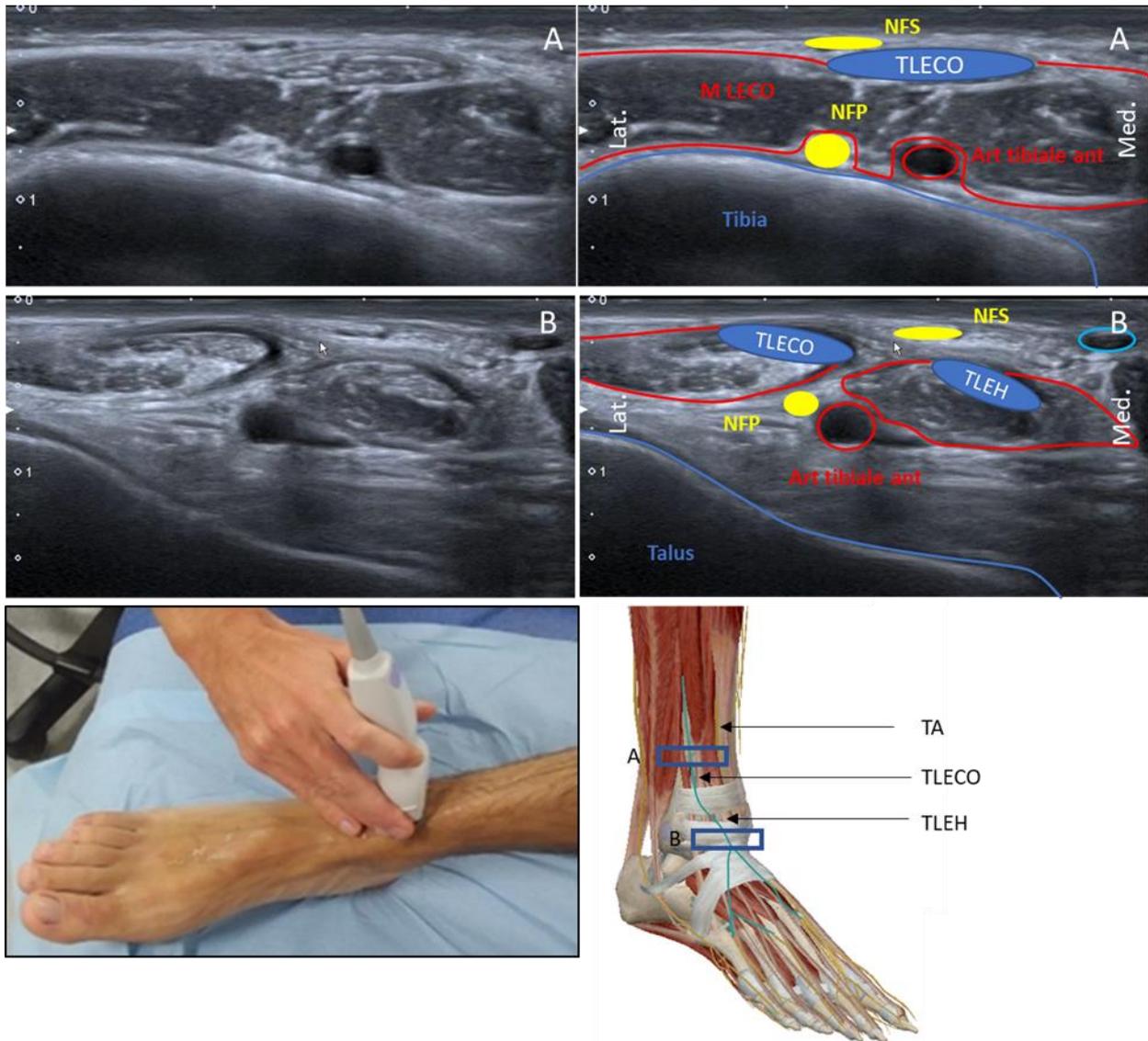
Le nerf fibulaire superficiel devient sous cutané en traversant le fascia crural le plus souvent au niveau du tiers distal de la jambe entre le long extenseur commun des orteils et les muscles fibulaires (chef court ou long en fonction de la hauteur de son émergence).



**Aide :** cette coupe est fondamentale dans l'étude du nerf fibulaire superficiel tant par sa facilité que par son intérêt en pathologie. Le repère est la fibula, son bord saillant est facilement identifiable et délimite la loge latérale de la loge antérieure. Le nerf fibulaire superficiel se trouve au-dessus de ce bord et entre ces deux loges. M : muscle, LECO : long extenseur commun des orteils.

### 3) Coupe 3 : Coupe axiale du nerf fibulaire superficiel (ou du nerf cutané dorsal médial) à la cheville et rapport avec le tendon du long extenseur commun des orteils

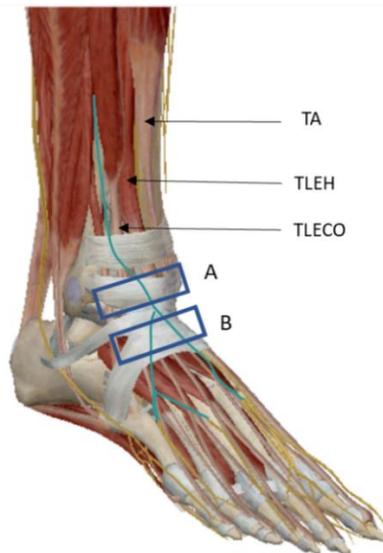
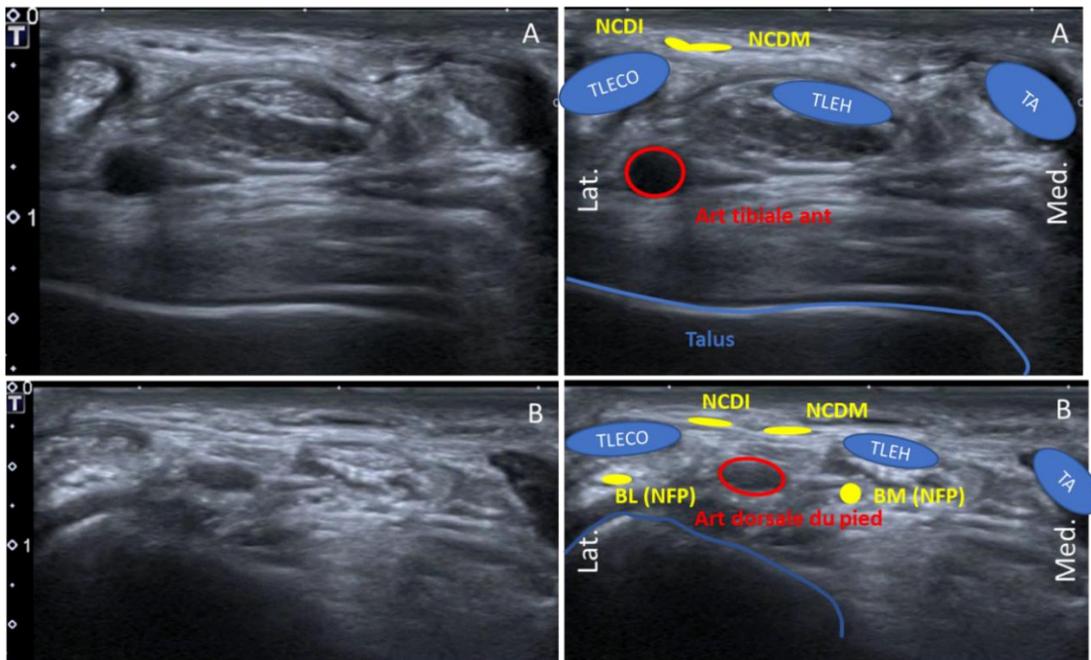
Le nerf fibulaire superficiel croise le tendon du long extenseur des orteils le plus souvent au niveau de la cheville avant de cheminer en sous cutané entre le tendon du long extenseur commun des orteils et du long extenseur du hallux.



**Aide :** le tendon du long extenseur commun des orteils permet de repérer le nerf fibulaire superficiel à la cheville. Un piège est de confondre ce nerf avec une de ses branches terminales (nerf cutané dorsal médial) si sa division s'effectue au-dessus de l'articulation talo-crurale. Il est nécessaire de remonter le nerf jusqu'à son émergence au tiers inférieur de la jambe pour ne pas méconnaître une division haute. NFS : nerf fibulaire superficiel, NFP : nerf fibulaire profond, TLECO : tendon du long extenseur commun des orteils, TA : tibia antérieur, TLEH : tendon du long extenseur de l'hallux, Art : artère.

#### 4) Coupe 4 : Coupe axiale de la division (basse) du nerf fibulaire superficiel en nerf cutané dorsal médial (NCDM) et nerf cutané dorsal intermédiaire (NCDI)

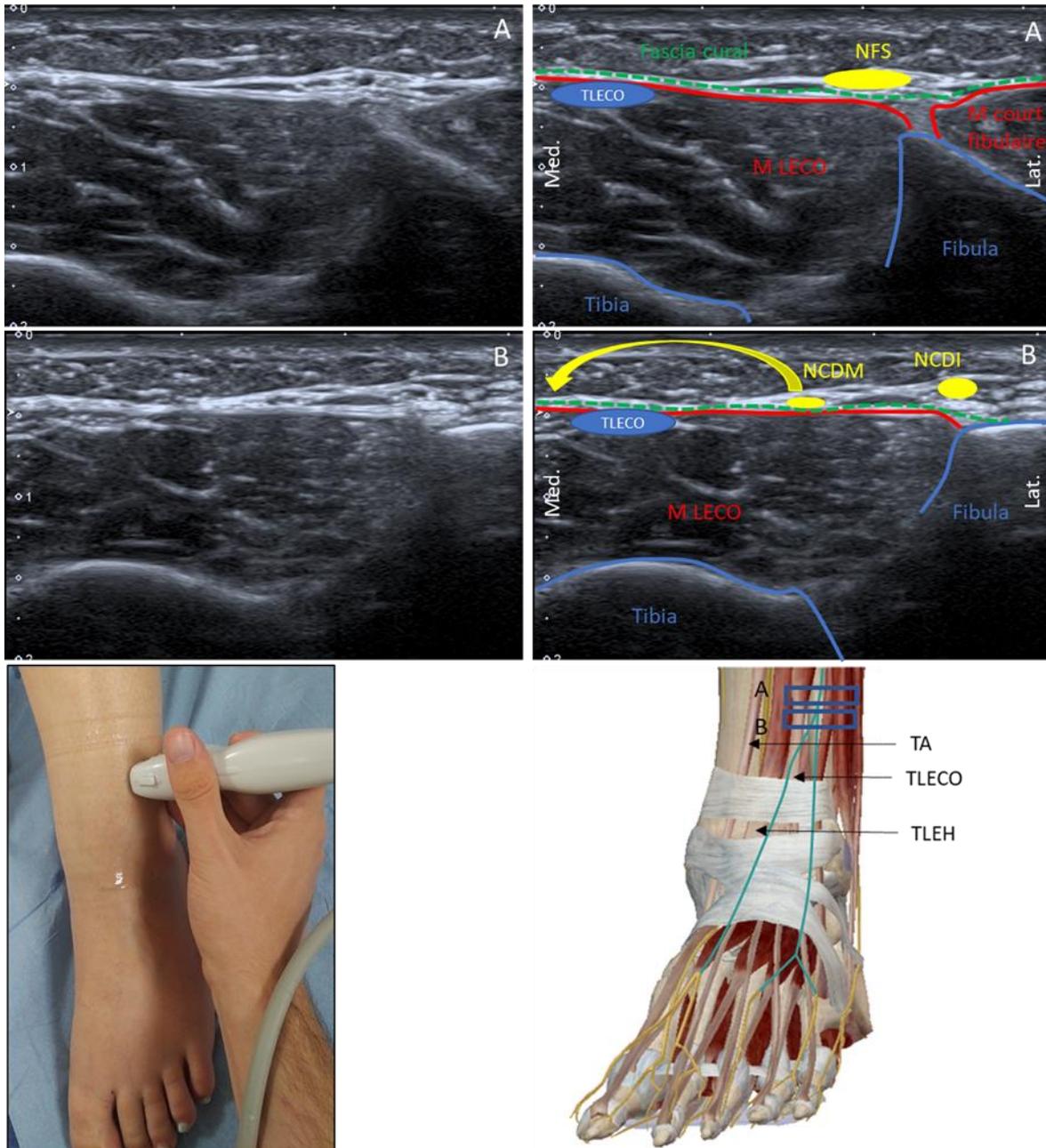
Le niveau de division du nerf fibulaire superficiel en nerf cutané dorsal médial et intermédiaire est très variable. Dans 60% des cas, cette division s'effectue au niveau de l'articulation talocrurale ou juste en dessous de celle-ci. Le niveau de division diffère pour une même personne dans 30% des cas.



**Aide :** le plus souvent la division basse du nerf fibulaire superficelle s'effectue entre le tendon du long extenseur communs des orteils et de l'hallux. Il est nécessaire de remonter la division jusqu'à l'émergence du nerf fibulaire superficiel au tiers distal de la jambe afin de ne pas méconnaître un nerf fibulaire accessoire ou une division haute. TA : tibial antérieur, TLEH : tendon du long extenseur de l'hallux, TLECO : tendon du long extenseur commun des orteils, Art : artère, NCDI/NCDM : nerf cutané dorsal intermédiaire/médial, NFP : nerf fibulaire profond, BL/BM : branche latérale/médiale.

5) Coupe 4 bis : coupe axiale de la division (haute) du nerf fibulaire superficiel en nerf cutané dorsal médial (NCDM) et nerf cutané dorsal intermédiaire (NCDI)

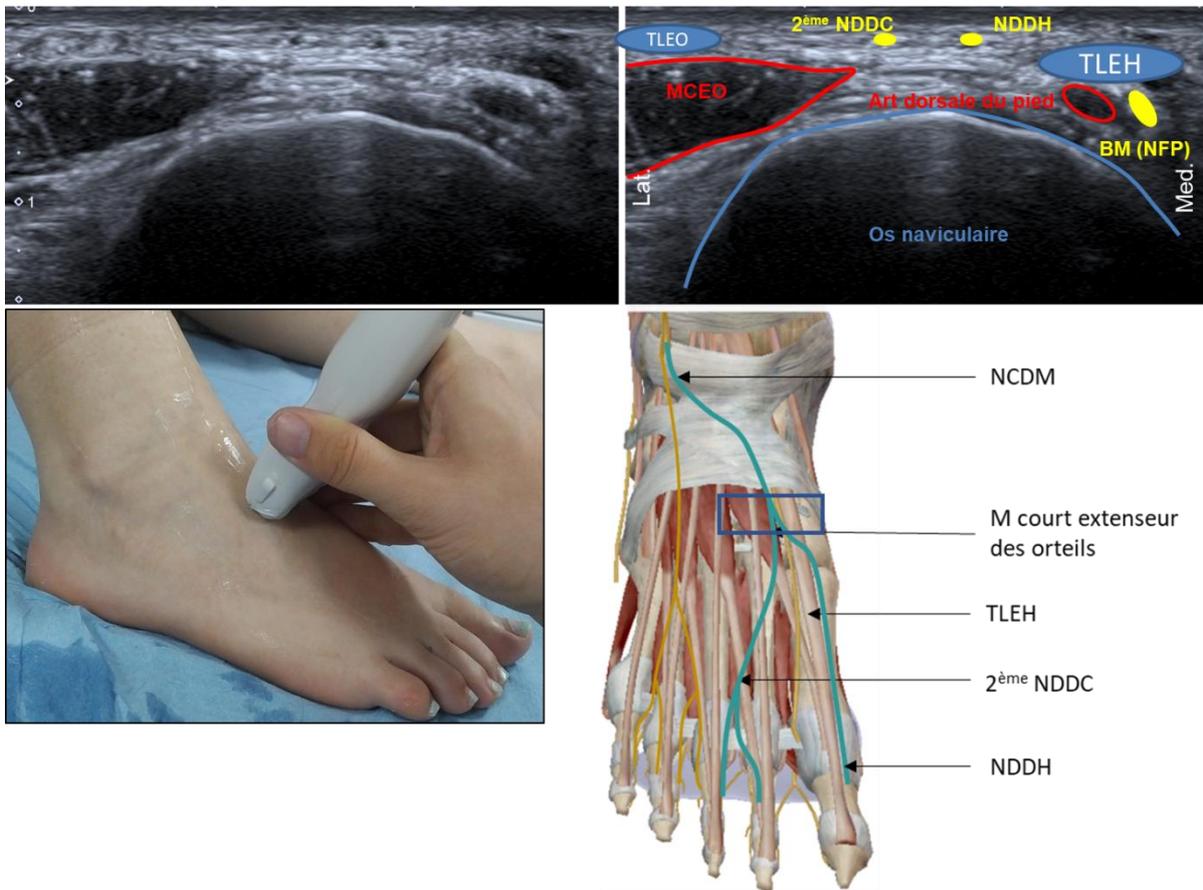
Dans 40% des cas la division du nerf fibulaire superficiel s'effectue au-dessus de l'articulation talo-crurale. Dans ce cas, sa branche terminale médiale (nerf cutané dorsal médial) croise le tendon du long extenseur commun des orteils.



**Aide :** il est important de ne pas méconnaître une division haute du nerf fibulaire superficiel. Celle-ci peut s'effectuer juste après son émergence au tiers inférieur de la jambe. Dans cette situation, le nerf cutané dorsal médial va croiser le tendon du long extenseur commun des orteils. M/T LECO : muscle/tendon du long extenseur commun des orteils, TA : tibial antérieur, TLEH : tendon du long extenseur de l'hallux, NFS : nerf fibulaire superficiel, NCDM : nerf cutané dorsal médial, NCDI : nerf cutané dorsal intermédiaire.

6) Coupe 5 : coupe axiale de la division du nerf cutané dorsal médial (NCDM) en nerf digital dorsal du hallux (NDDH) et 2ème nerf digital dorsal commun (2ème NDDC)

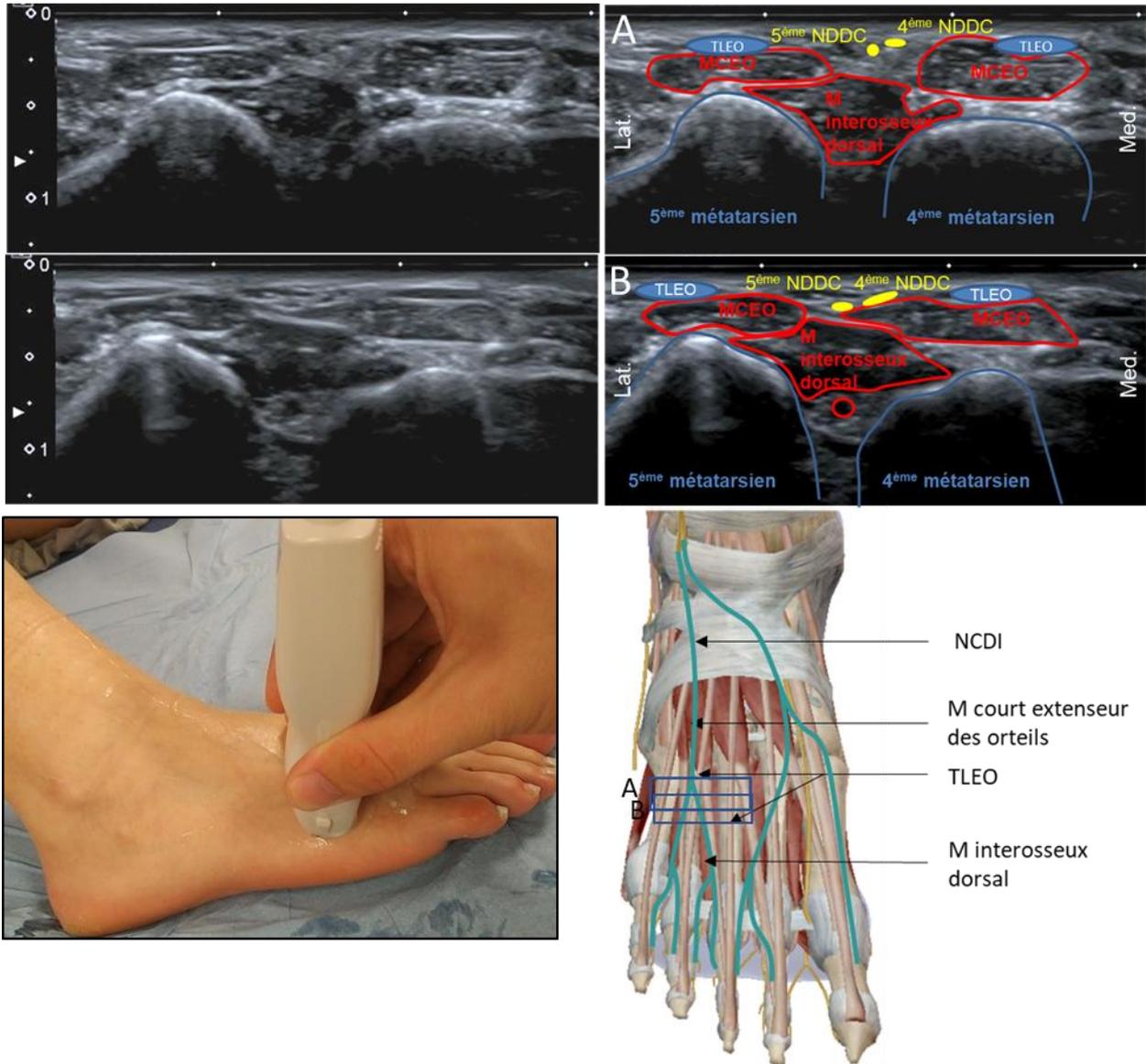
Le nerf cutané dorsal médial se divise en nerf digital dorsal du hallux et en 2ème nerf digital dorsal commun entre le tendon du long extenseur du 2ème orteil et le tendon du long extenseur du hallux.



**Aide :** les divisions distales du nerf fibulaire superficiel sont très variables par leur topographie. La méthode la plus simple pour leur repérage est la technique de l'ascenseur à partir du nerf cutané dorsal médial ou de repérer les branches superficielles qui cheminent en sous cutané entre les tendons des longs extenseurs des orteils (hallux et 2ème orteil). TLCEO : tendon du long extenseur du 2ème orteil, MCEO : muscle court extenseur des orteils, TLEH : tendon du long extenseur de l'hallux, Art : artère, BM (NFP) : branche médiale (nerf fibulaire profond), NCDM : nerf cutané dorsal médial, NDDC : nerf digital dorsal commun, NDDH : nerf digital dorsal de l'hallux.

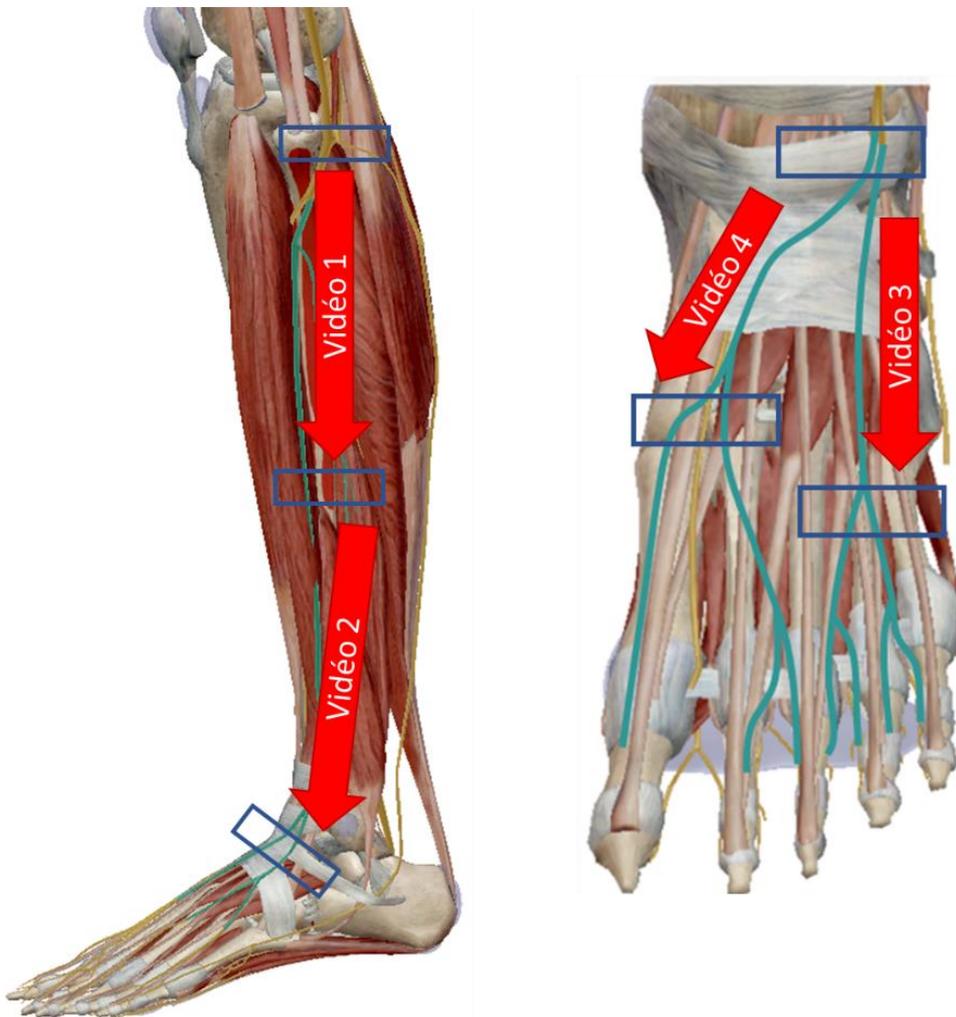
## 7) Coupe 6 : coupe axiale de la division du nerf cutané dorsal intermédiaire (NCDI) en 3ème et 4ème nerf digital dorsal commun (NDDC)

Le nerf cutané dorsal intermédiaire se divise en 3ème et 4ème nerf digital dorsal commun avec un niveau de division très variable. Ces nerfs cheminent entre les métatarsiens au-dessus des muscles interosseux dorsaux.



**Aide :** les divisions distales du nerf fibulaire superficiel sont très variables par leur topographie. La méthode la plus simple pour leur repérage est la technique de l'ascenseur à partir du nerf cutané dorsal intermédiaire ou de repérer les branches superficielles sous-cutanées qui cheminent entre les tendons des longs extenseurs des orteils et au-dessus des muscles interosseux dorsaux. TLEO : tendon du long extenseur du 4<sup>ème</sup> ou du 5<sup>ème</sup> orteil, MCEO : muscle court extenseur du 4<sup>ème</sup> ou du 5<sup>ème</sup> orteil, NDDC : nerf digital dorsal commun, NCDI : nerf digital dorsal intermédiaire, M : muscle.

### C) Vidéographies



Vidéo 1 : trajet du nerf fibulaire commun jusqu'à l'émergence du nerf fibulaire superficiel au tiers inférieur de la jambe,

Vidéo 2 : trajet du nerf fibulaire du tiers inférieur de la jambe jusqu'à sa division (basse) en nerf cutané dorsal médial et intermédiaire,

Vidéo 3 : trajet du nerf cutané dorsal intermédiaire jusqu'à sa division en 3ème et 4ème nerf digital dorsal commun,

Vidéo 4 : trajet du nerf cutané dorsal médial jusqu'à sa division en nerf digital dorsal du hallux et 2ème nerf digital dorsal commun

Lien pour l'accès aux vidéographies :

<https://www.dropbox.com/sh/c197l74zh2he0v/AABNP2Qb-aTM1vrqGovUNnMMa?dl=0>

## D) Rappel des fonctions

Le nerf fibulaire superficiel est un nerf mixte, tandis que ses branches terminales sont purement sensibles. Concernant, sa fonction motrice, le nerf fibulaire superficiel innerve le muscle court fibulaire et long fibulaire.

Concernant, sa fonction sensitive, il innerve la face antéro-latérale de la jambe. Par l'intermédiaire du nerf digital dorsal médial, il innerve la face antérieure de la cheville, la face dorso-médiale du pied, la face médiale de l'hallux, ainsi que la face dorsale du 2<sup>ème</sup> espace interphalangien. Par l'intermédiaire du nerf cutané dorsal intermédiaire, il innerve la face dorso-latérale du pied ainsi que la face dorsale des 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> espaces interphalangiens.

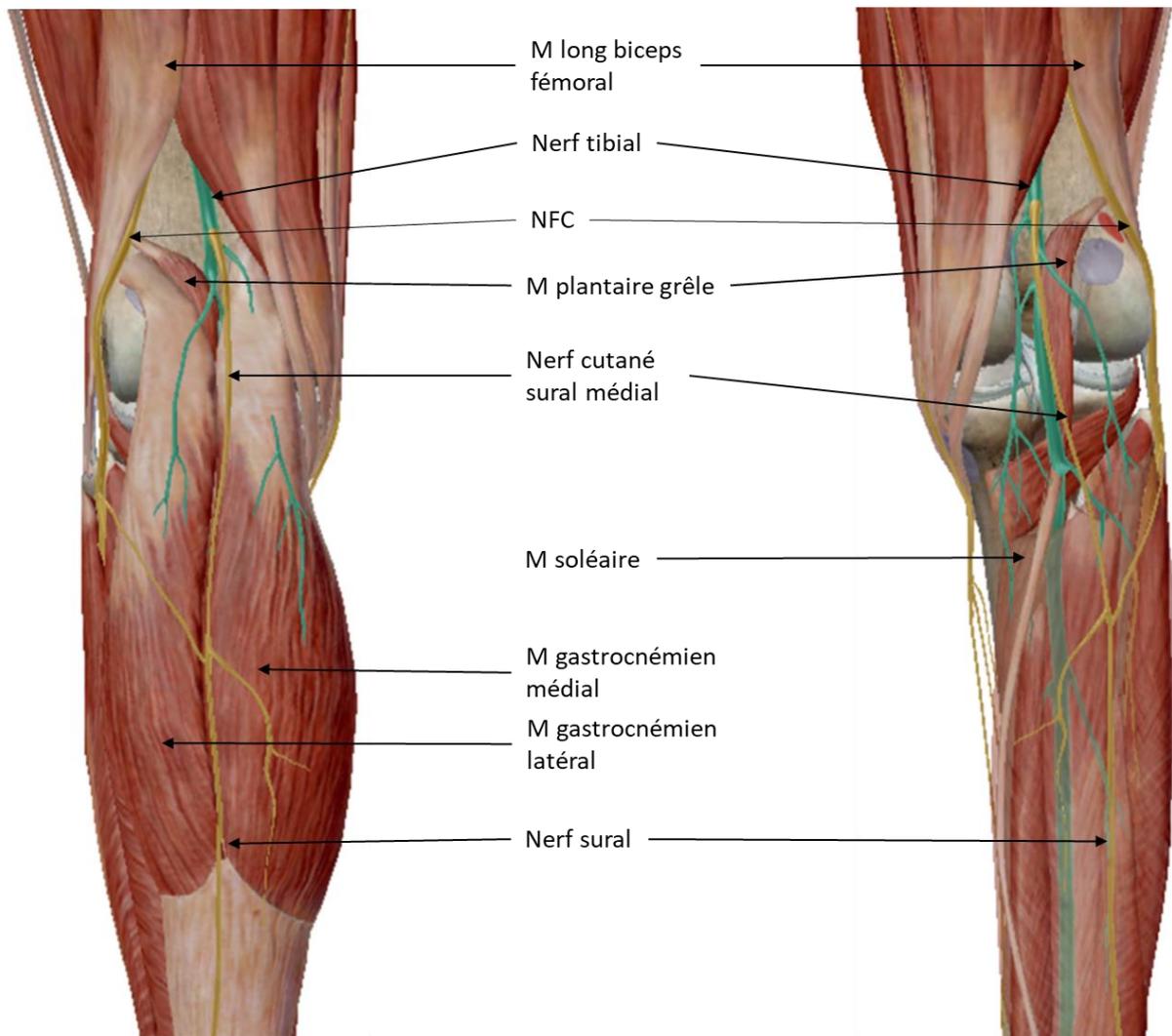
## E) Récapitulatif des coupes et leurs statuts

Numéro de coupe	titres	Statut	Commentaires
Coupe 1	<i>Coupe axiale de la naissance du nerf fibulaire superficielle par la division du nerf fibulaire commun</i>	<i>Optionnel</i>	
<b>Coupe 2</b>	<b>Coupe axiale de l'émergence du nerf fibulaire superficiel au tiers distal de la jambe (coupe de référence)</b>	<b>Obligatoire</b>	
Coupe 3	Coupe axiale du nerf fibulaire superficiel (ou du nerf cutané dorsal médial) à la cheville et rapport avec le tendon du long extenseur commun des orteils	Obligatoire	
Coupe 4 et 4 bis	Coupe axiale de la division ( <b>basse ou haute</b> ) du nerf fibulaire superficiel en nerf cutané dorsal médial et nerf cutané dorsal intermédiaire	Au choix: coupe 4 <u>ou</u> 4 bis	
Coupe 5	<i>Coupe axiale de la division du nerf cutané dorsal médial en nerf digital dorsal du hallux et 2ème nerf digital dorsal commun</i>	<i>Optionnel</i>	
Coupe 6	<i>Coupe axiale de la division du nerf cutané dorsal intermédiaire en 3ème et 4ème nerf digital dorsal commun</i>	<i>Optionnel</i>	

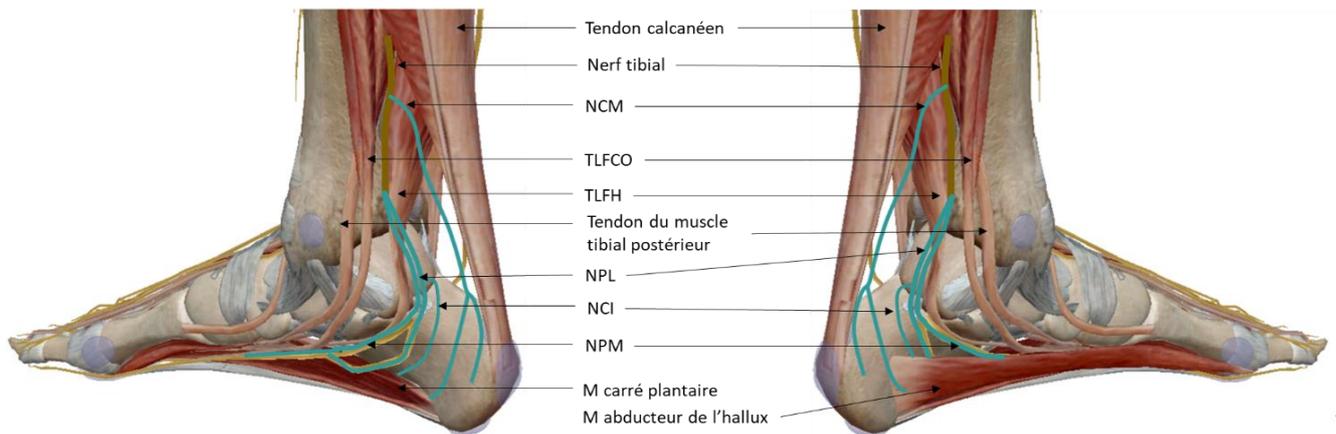
## Nerf 5 : nerf tibial (NT)

### A) Généralités

Selon l'ancienne nomenclature, le nerf tibial est également nommé « nerf sciatique poplité interne » ou « nerf tibial postérieur ». Il naît de la division du nerf sciatique en nerf fibulaire commun et nerf tibial. Il descend dans la loge postérieure de la jambe jusqu'à la face médiale de la cheville pour se diviser en deux branches (nerf plantaire médial et latéral). Ces branches cheminent sur le versant plantaire du pied.



**NFC : nerf fibulaire commun, M : muscle**



**NCM : nerf calcanéen médial, TLFCO : tendon du long fléchisseur commun des orteils, TLFH : tendon du long fléchisseur de l'hallux, NPL/NPM : nerf plantaire latéral/médial, NCI : nerf calcanéen inférieur, M : muscle.**

La difficulté de ce nerf vient principalement de l'étude de ses collatérales distales. Elle peut être très limitée lorsque ces branches naissent proche de la face plantaire du pied. Leur niveau de division est également très variable. En pathologie, l'étude du nerf tibial se fait principalement en regard de la fosse poplitée et du tunnel tarsien médial

Pour l'étude de ce nerf, nous proposons la réalisation de six coupes :

- coupe axiale du nerf tibial et du nerf fibulaire commun au niveau de la fosse poplitée,
- coupe axiale de la naissance d'une collatérale du nerf tibial : le nerf cutané sural médial (**optionnelle**),
- coupe axiale du nerf tibial au tiers inférieur de la jambe (**coupe de référence**),
- coupe axiale du nerf tibial au tiers inférieur de la jambe et naissance du nerf calcanéen médial (**optionnelle**),
- coupe axiale de la division du nerf tibial en nerf plantaire médial et latéral,
- coupe axiale de la naissance du nerf calcanéen inférieur (**optionnelle**).

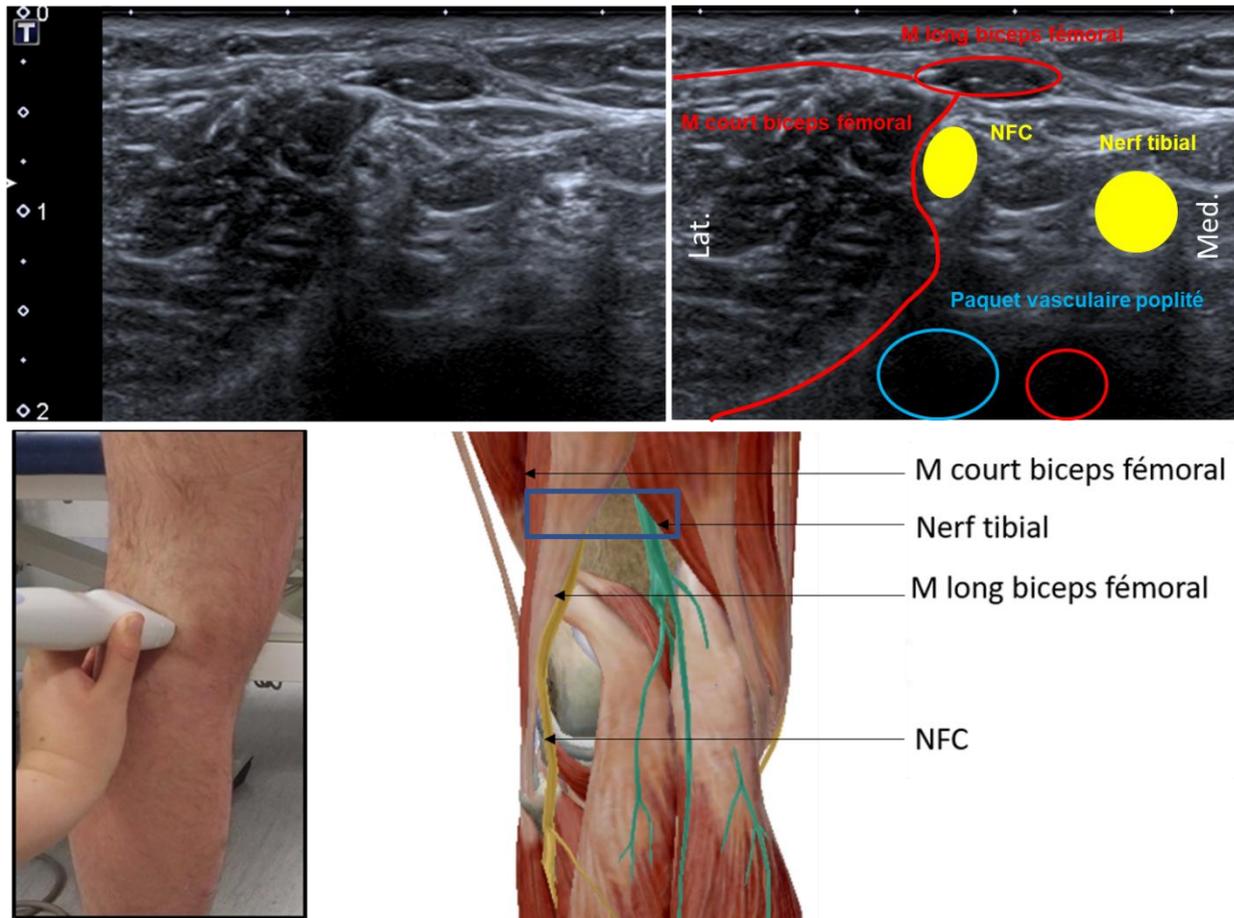
Afin de favoriser le repérage de ses coupes et de mieux visualiser le parcours du nerf tibial, nous proposons trois vidéographies :

- trajet du nerf tibial de sa naissance à partir du nerf sciatique jusqu'à la naissance du nerf cutané sural médial
- trajet du nerf tibial au tiers inférieur de la jambe jusqu'à la naissance du nerf calcanéen médial,
- trajet du nerf tibial à la cheville jusqu'à sa division en nerf plantaire latéral, nerf plantaire médial et nerf calcanéen inférieur.

## B) Anatomie et coupes échographiques

### 3) Coupe 1 : coupe axiale du nerf tibial et du nerf fibulaire commun au niveau de la fosse poplitée

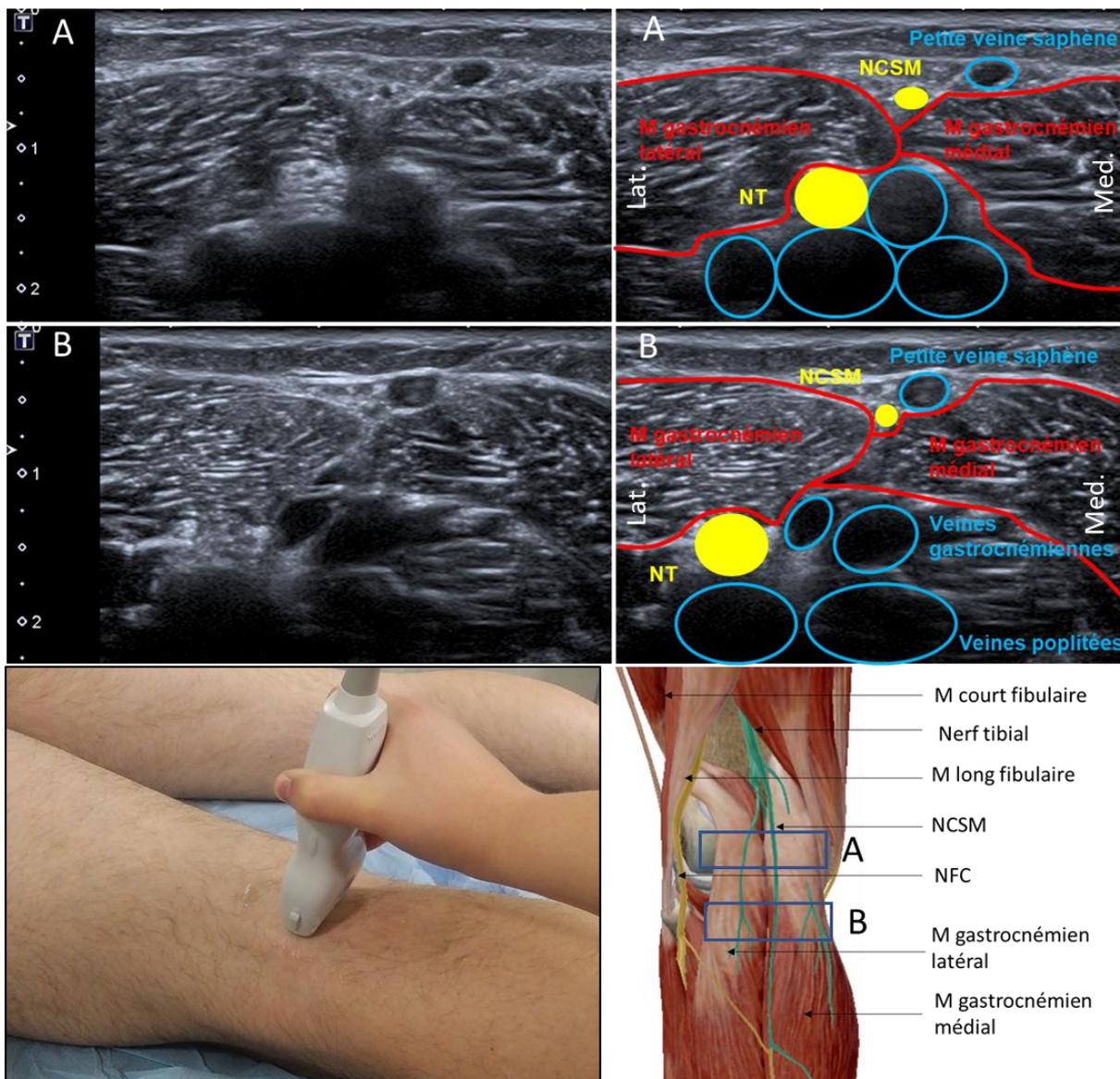
Après la division du nerf sciatique au niveau du tiers distal de la cuisse ou de la partie supérieure du creux poplité, le nerf tibial chemine dans la fosse poplitée pour rejoindre le paquet vasculaire poplité.



**Aide :** au niveau de la fosse poplitée le nerf tibial est plus médial et plus gros que le nerf fibulaire. Le repère anatomique le plus simple à repérer est le paquet vasculaire poplitée qu'il rejoint en restant la structure la plus superficielle (flèche jaune). NFC : nerf fibulaire commun, M : muscle.

## Coupe 2 : coupe axiale de la naissance d'une collatérale du nerf tibial : le nerf cutané sural médial (NCSM)

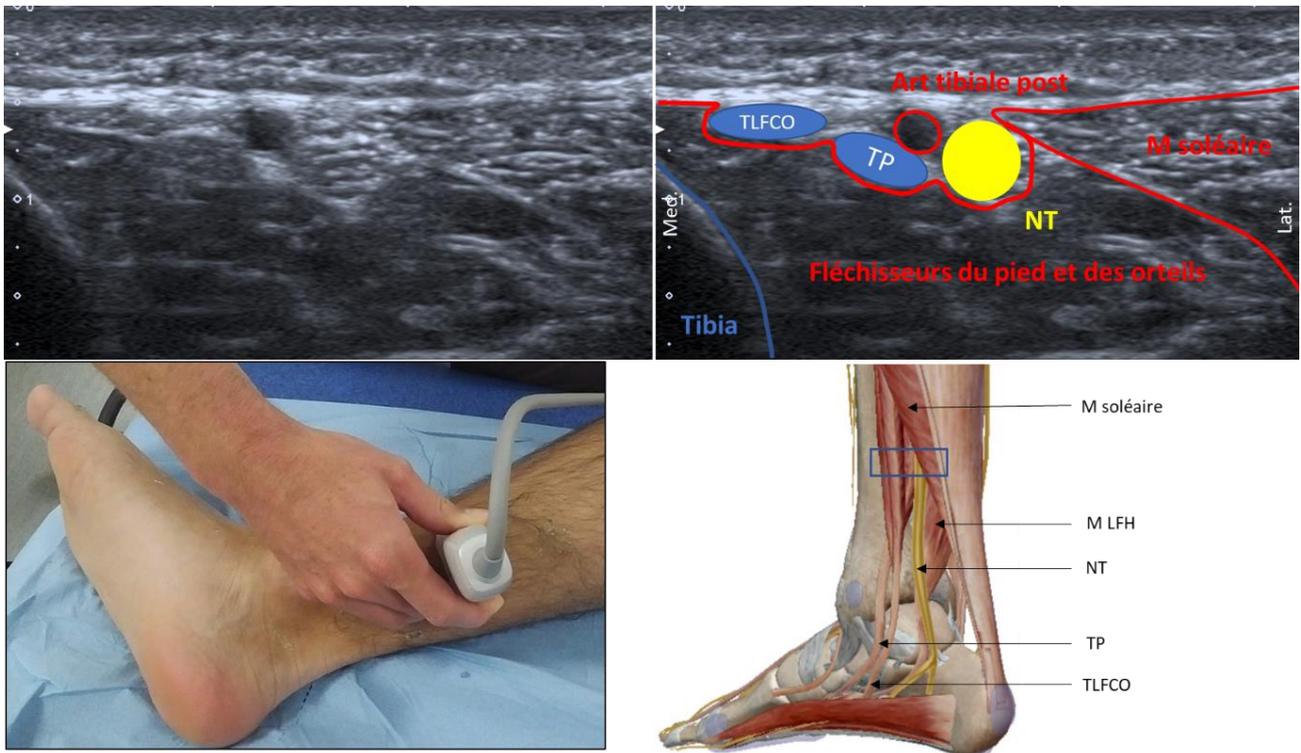
Avant de pénétrer dans la loge postérieure de la jambe par l'arcade du muscle soléaire, le nerf tibial donne une collatérale : le nerf cutané sural médial (ancien rameau communicant tibial). Cette collatérale chemine entre les gastrocnémiens pour rejoindre la petite veine saphène et s'anastomoser avec le rameau communicant fibulaire pour donner le nerf sural.



**Aide :** pour réaliser cette coupe, il suffit de repérer l'espace entre les muscles gastrocnémien et la logette de la petite veine saphène. Il est nécessaire d'éviter d'exercer une pression trop forte avec la sonde afin de visualiser la petite veine saphène. Pour visualiser le nerf tibial et cette collatérale sans appuyer sur la sonde une flexion de la jambe sur la cuisse peut permettre de les rendre plus superficiels. En continuant de suivre la petite veine saphène et le nerf cutané sural médial, on repère le nerf sural. NCSM : nerf cutané sural médial, NT : nerf tibial, NFC : nerf fibulaire commun, M : muscle.

### Coupe 3 : coupe axiale du nerf tibial au tiers inférieur de la jambe (coupe de référence)

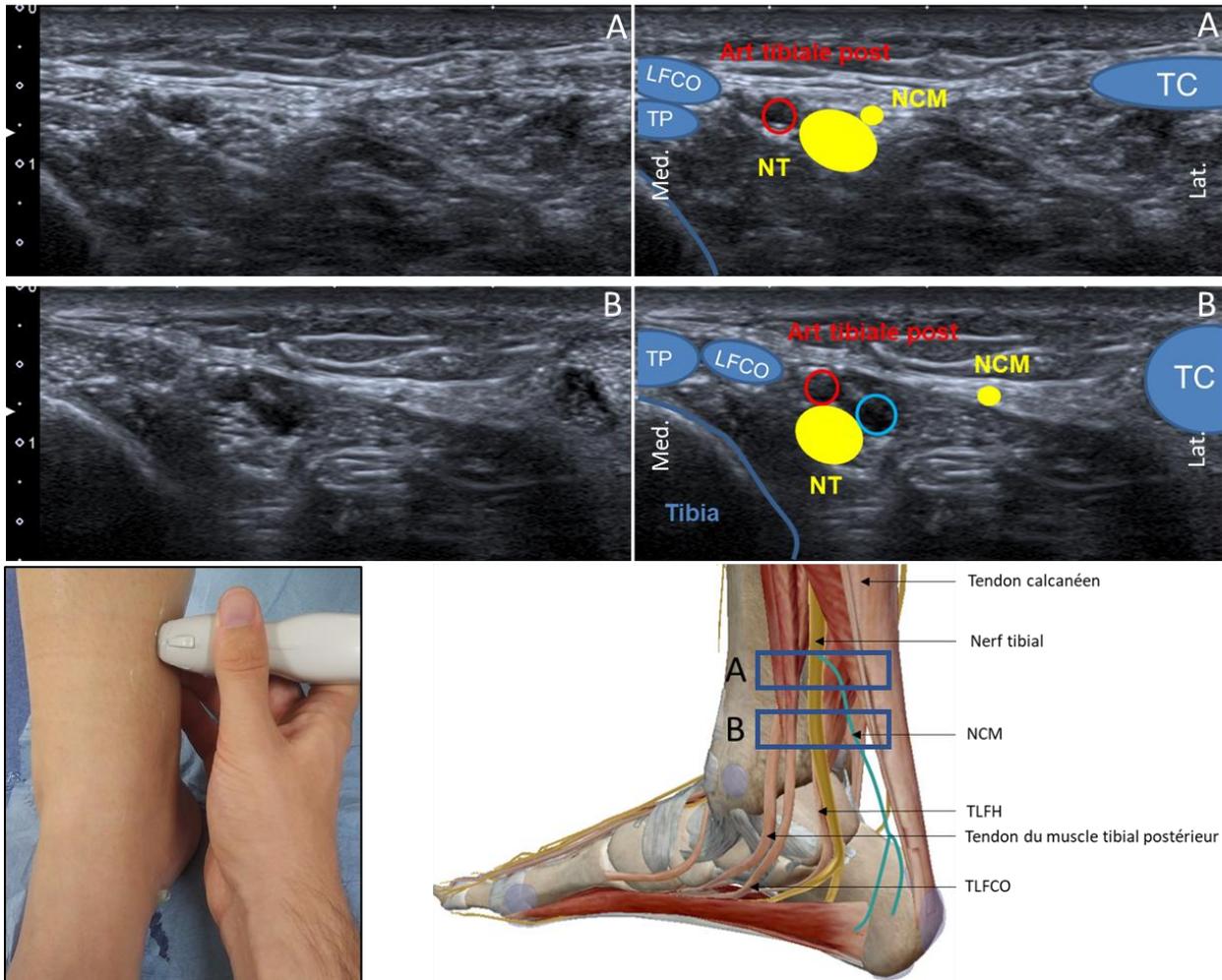
Le nerf tibial chemine dans la face postérieure de la jambe sous le muscle soléaire à proximité de l'artère tibiale antérieure. Il devient superficiel sur la face postéro-médiale du tiers inférieure du tibia au niveau de la naissance des tendons du tibial postérieur et du long fléchisseur commun des orteils.



**Aide :** cette coupe est une coupe de référence pour l'étude du nerf tibial avant son entrée dans le canal calcanéen. Il suffit de repérer l'artère tibiale postérieure et les tendons des fléchisseurs. Le nerf tibial se trouve sur le bord médial des tendons et en arrière de l'artère tibiale postérieure. NT : nerf tibial, TLFCO : tendon du long fléchisseur commun des orteils, TP : tibial postérieur, M : muscle.

## Coupe 4 : coupe axiale du nerf tibial au tiers inférieur de la jambe et naissance du nerf calcanéen médial (NCM)

Le nerf tibial donne une première collatérale à la cheville au niveau de sa face postéro-médiale : le nerf calcanéen médial. Les rameaux issus de cette collatérale vont cheminer en sous cutanée vers le talon.

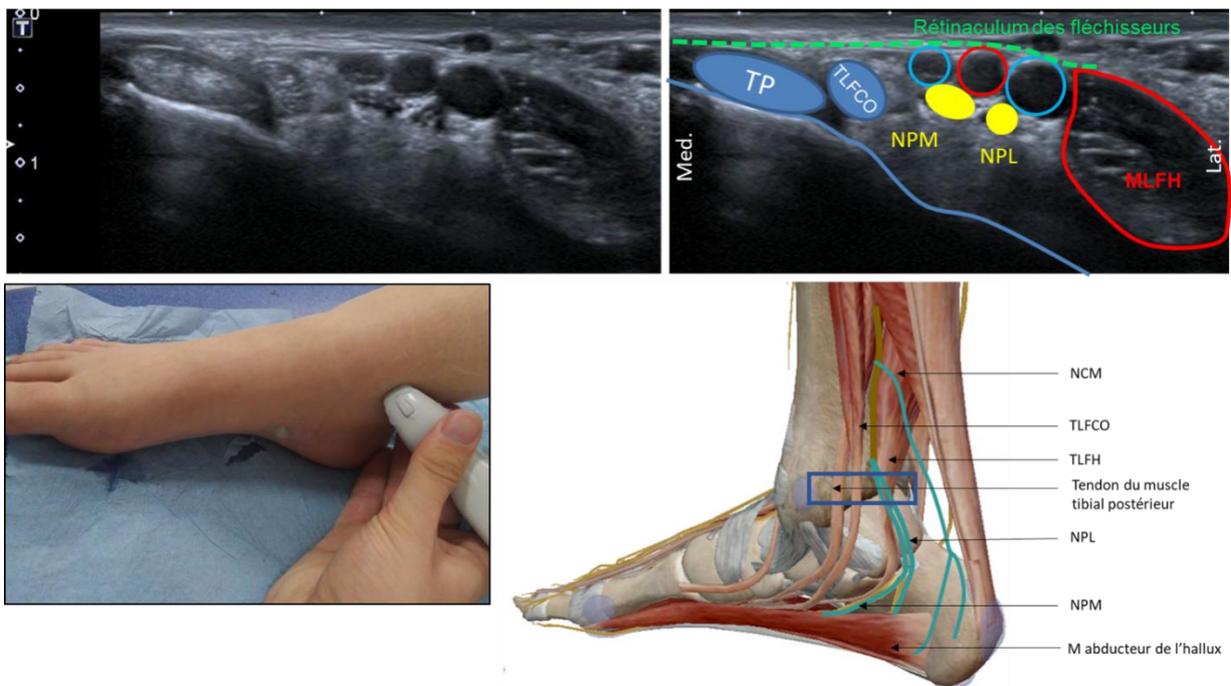


**Aide :** pour la réalisation de cette coupe, deux techniques sont possibles. La première consiste à partir de la coupe précédente jusqu'à localiser la naissance de cette collatérale avant la division du nerf tibial en nerf plantaire médial et latéral. La deuxième est de partir de façon plus distale en recherchant des rameaux sous cutanés qui vont rejoindre le nerf tibial en passant entre l'artère tibiale postérieure et le tendon calcanéen. NT : nerf tibial, NCM : nerf calcanéen médial, TC : tendon calcanéen, TLFH : tendon du long fléchisseur de l'hallux, TLFCO : tendon du long fléchisseur commun des orteils, TP : tibial postérieur, Art : artère.

## Coupe 5 : coupe axiale de la division du nerf tibial en nerf plantaire médial et latéral

Le nerf tibial donne ses deux branches terminales le plus souvent dans la région inframalléolaire avant la division de l'artère tibiale postérieure en artère plantaire latérale et médiale, en regard du tendon du long fléchisseur de l'hallux en arrière du tendon du long fléchisseur commun des orteils, sous le rétinaculum des fléchisseurs (canal calcanéen).

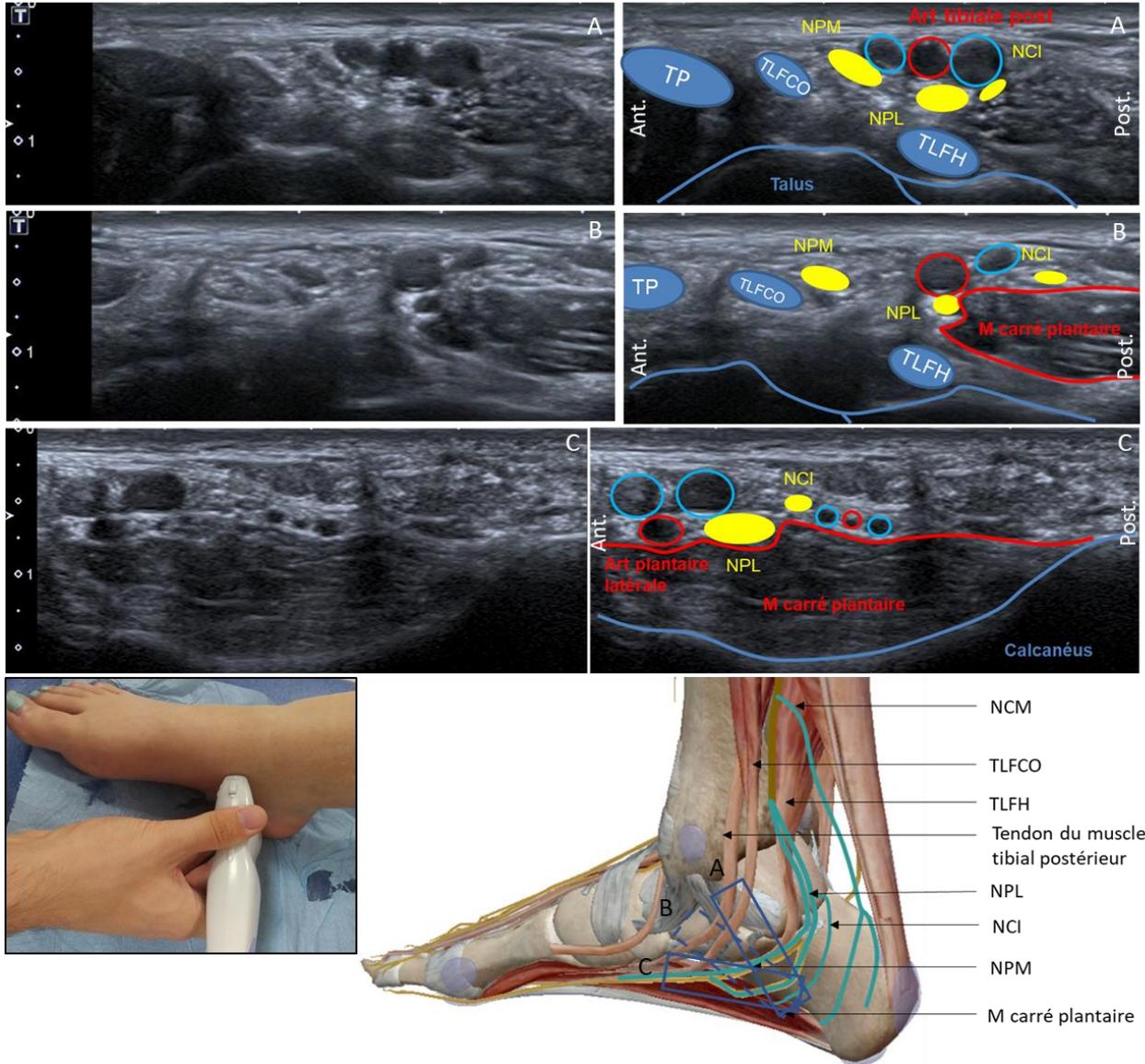
La branche médiale est appelée nerf plantaire médial et suit le bord latéral de l'artère plantaire médiale pour rejoindre la face plantaire du pied. La branche latérale est appelée nerf plantaire latéral et suit le bord latéral de l'artère plantaire latérale pour rejoindre la face plantaire du pied (voir coupe 6).



**Aide :** pour la réalisation de cette coupe, il suffit de suivre le nerf tibial à partir des coupes précédentes. La division se fait entre le tendon du long fléchisseur commun des orteils (TLFO) et l'artère tibiale postérieure. Un repère cliniquement palpable est la malléole médiale. Il est possible de repérer la division du nerf tibial en effectuant une rotation de la sonde autour de la malléole médiale. Le tendon du long fléchisseur de l'hallux peut être également un bon repère (voir coupe 6). NPL/NPM : nerf plantaire latéral/médial, TLFH : tendon du long fléchisseur de l'hallux, TLFCO : tendon du long fléchisseur commun des orteils, TP : tibial postérieur, Art : artère, MLFH : muscle long fléchisseur de l'hallux, M : muscle.

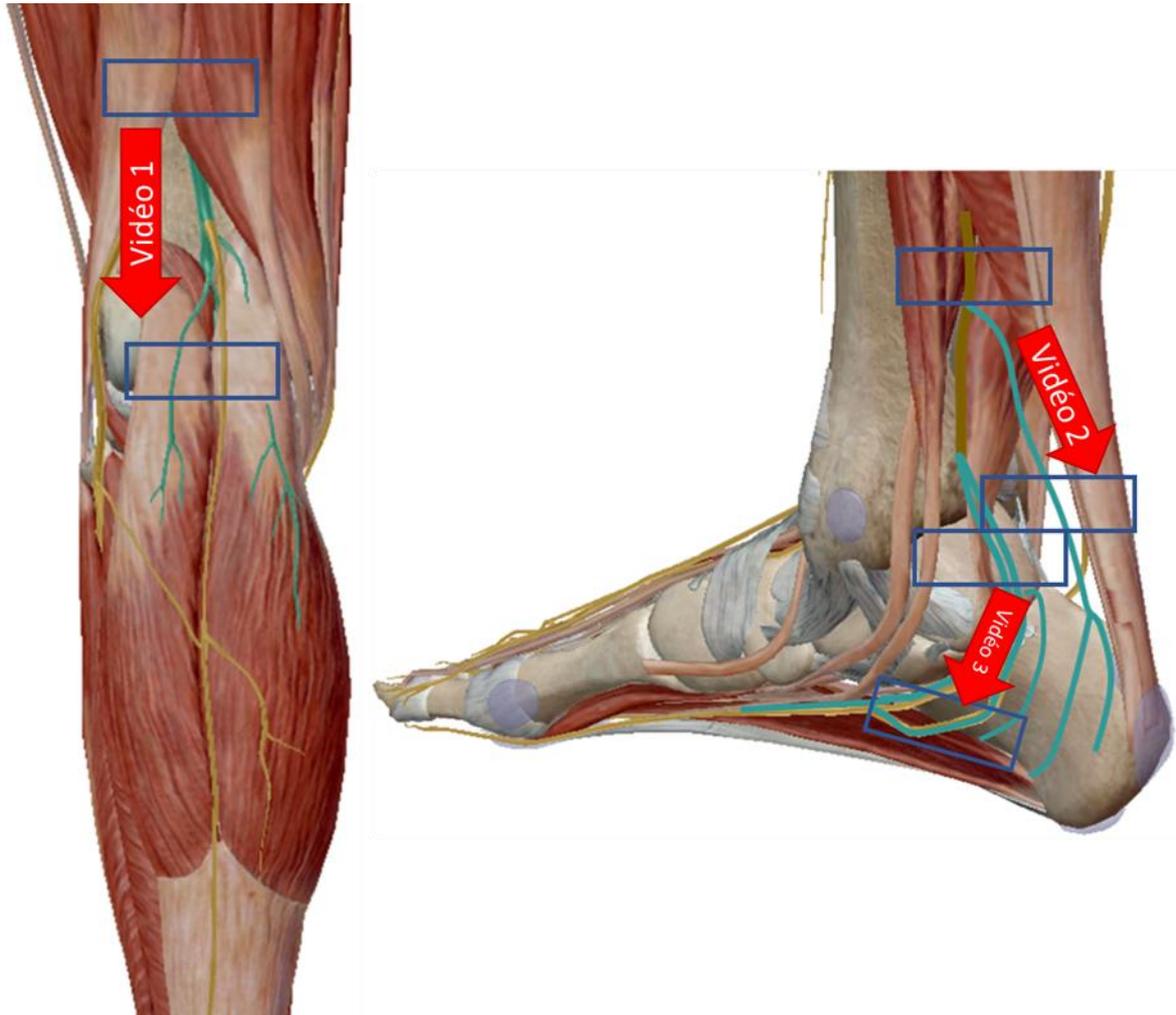
## Coupe 6 : coupe axiale de la naissance du nerf calcanéen inférieur (NCI)

Le nerf calcanéen inférieur naît le plus souvent à partir du nerf plantaire latéral dans les suites de la division du nerf tibial. Il chemine au-dessus du muscle carré plantaire puis sous l'abducteur de l'hallux pour rejoindre la face plantaire du pied.



**Aide :** pour repérer le nerf calcanéen inférieur, il suffit de repérer le nerf plantaire latéral. Il naît souvent au-dessus du tendon du long fléchisseur du hallux. Le muscle carré plantaire est un bon repère. NPL/NPM : nerf plantaire latéral/médial, NCM : nerf calcanéen médial, NCI : nerf calcanéen inférieur, TLFH : tendon du long fléchisseur de l'hallux, TLFCO : tendon du long fléchisseur commun des orteils, TP : tibia postérieur, Art : artère, MLFH : muscle long fléchisseur de l'hallux, M : muscle.

### C) Vidéographies



Vidéo 1 : trajet du nerf tibial de sa naissance à partir du nerf sciatique jusqu'à la naissance du nerf cutané sural médial.

Vidéo 2 : trajet du nerf tibial au tiers inférieur de la jambe jusqu'à la naissance du nerf calcanéen médial.

Vidéo 3 : trajet du nerf tibial à la cheville jusqu'à sa division en nerf plantaire latéral, nerf plantaire médial et nerf calcanéen inférieur.

Lien pour l'accès aux vidéographies :

<https://www.dropbox.com/sh/c197l74zh2he0v/AABNP2Qb-aTM1vrqGovUNnMMa?dl=0>

## D) Rappel des fonctions

Concernant les fonctions motrices, il innerve :

- les muscles gastrocnémiens,
- le muscle soléaire,
- le muscle plantaire grêle,
- le muscle poplité,
- le muscle tibial postérieur,
- le muscle long fléchisseur des orteils,
- le muscle long fléchisseur de l'hallux.

Le nerf plantaire médial innerve :

- le muscle court fléchisseur des orteils,
- le muscle carré plantaire,
- le muscle abducteur de l'hallux,
- le chef médiale du muscle court fléchisseur de l'hallux,
- et les deux premiers muscles lombricaux du pied.

Le nerf plantaire latéral innerve :

- le muscle abducteur du 5<sup>ème</sup> orteil (nerf calcanéen inférieur),
- le muscle carré plantaire,
- le muscle court fléchisseur du 5<sup>ème</sup> orteil (branche superficielle),
- le muscle opposant du 5<sup>ème</sup> orteil (branche superficielle),
- les muscles interosseux (branche profonde sauf pour le 4<sup>ème</sup> espace intermétatarsien qui est innervé par la branche superficielle),
- le muscle adducteur du hallux (branche profonde),
- les 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> muscles lombricaux (branche profonde).

Concernant sa fonction sensitive, le nerf tibial innerve :

- l'articulation du genou,
- et la région du talon (nerf calcanéen médial).

Le nerf plantaire médial innerve :

- les articulations du tarse,
- la partie antéro-médiale de la face plantaire du pied et des trois premiers orteils ainsi que le bord médial du 4<sup>ème</sup> orteil.

Le nerf plantaire latéral innerve :

- la partie antéro-latérale de la face plantaire du pied et des deux derniers orteils,
- et le bord latéral du 4<sup>ème</sup> orteil.

## E) Récapitulatifs des coupes et leurs statuts

Numéro de coupe	titres	Statut	Commentaires
<b>Coupe 1</b>	<b>Coupe axiale du nerf tibial et du nerf fibulaire commun au niveau de la fosse poplitée</b>	<b>Obligatoire</b>	
<i>Coupe 2</i>	<i>Coupe axiale de la naissance d'une collatérale du nerf tibial : le nerf cutané sural médial</i>	<i>Optionnel</i>	
<b>Coupe 3</b>	<b>Coupe axiale du nerf tibial au tiers inférieur de la jambe</b>	<b>Coupe de référence</b>	
Coupe 4	Coupe axiale du nerf tibial au tiers inférieur de la jambe et naissance du nerf calcanéen médial	<i>Optionnel</i>	
<b>Coupe 5</b>	<b>Coupe axiale de la division du nerf tibial en nerf plantaire médial et latéral</b>	<b>Obligatoire</b>	
<i>Coupe 6</i>	<i>Coupe axiale de la naissance du nerf calcanéen inférieur</i>	<i>Optionnel</i>	

## SERMENT D'HIPPOCRATE

Au moment d'être admis(e) à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences.

Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis(e) dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu(e) à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré(e) et méprisé(e) si j'y manque."

**Vu, le Président du Jury,**



Professeur Yves MAUGARS

**Vu, le Directeur de Thèse,**



Professeur Benoit LE GOFF

**Vu, le Doyen de la Faculté,**



Professeur Pascale JOLLIET

**Titre de Thèse :** Etude randomisée comparant l'apprentissage en ligne et en présentiel de l'échographie des nerfs. Evaluation d'un outil de formation en ligne.

---

## RESUME

**Objectif :** Le but de notre étude était d'évaluer un outil d'apprentissage en ligne de l'échographie des nerfs et comparer l'efficacité de l'apprentissage en e-learning par rapport à l'apprentissage en présentiel de l'échographie.

**Matériel et méthode :** L'outil en ligne proposait des cours théoriques et coupes à envoyer pour correction sur une durée de 4 semaines. La formation en présentiel a été organisée sous la forme d'une journée de formation constituée d'ateliers proposant les mêmes coupes à réaliser que celles de l'outil. Les participants étaient des médecins maîtrisant les bases de l'échographie. Ils étaient randomisés dans le groupe e-learning ou présentiel en stratifiant sur leur expérience. Le critère de jugement principal portait sur la qualité des coupes réalisées par les participants évaluée par un score de qualité spécifique, analysé en aveugle par 2 correcteurs. La moyenne des 2 cotations est retenue.

**Résultats :** Trente échographistes ont été randomisés. Les coupes de 10 participants de chaque groupe ont été analysées. La reproductibilité du score était excellente avec un ICC à 0,968 (IC95% [0,795 - 0,990]). Aucune différence significative n'a été mise en évidence concernant la qualité des images entre les 2 groupes (score total de 57,65, IC95% [43,72-71,58] et 61,20 (IC95% [48,91-73,49] dans le groupe présentiel et e-learning respectivement  $p=0,571$ ). Aucune différence significative n'a été mise en évidence entre les moyennes des scores moyens par coupe et entre le nombre de coupes réalisées. Aucune corrélation n'a été mise en évidence entre la qualité des coupes et l'âge, l'expérience ou le statut professionnel. Les deux formations ont été très appréciées par les participants. Un nombre de coupes plus important a été réalisé par les participants à la formation en e-learning qui ont également participé à la journée de formation après leur évaluation.

**Conclusion :** Aucune différence n'a été mise en évidence entre l'apprentissage de l'échographie des nerfs en e-learning et en présentiel. Les résultats de cette étude doivent être confirmés par une étude sur une population plus importante ou ne maîtrisant pas les bases de l'échographie.

---

## MOTS-CLES

ECHOGRAPHIE- NERF- E-LEARNING- APPRENTISSAGE