



HAL
open science

Bloc axillaire échoguidé : évaluation prospective, contrôlée et randomisée des performances de l'injection sous-paraneurale

Vincent Génin

► **To cite this version:**

Vincent Génin. Bloc axillaire échoguidé : évaluation prospective, contrôlée et randomisée des performances de l'injection sous-paraneurale. Médecine humaine et pathologie. 2015. dumas-01246341

HAL Id: dumas-01246341

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01246341>

Submitted on 18 Dec 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université de Bordeaux

U.F.R DES SCIENCES MÉDICALES

Année 2015

Thèse n°3171

THÈSE

pour l'obtention du

DIPLOME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

Présentée et soutenue publiquement le

12 octobre 2015

par Vincent GÉNIN

né le 29 Août 1985 à Bordeaux (33)

Bloc axillaire échoguidé : évaluation prospective, contrôlée et randomisée des performances de l'injection sous-paraneurale

Directrice de thèse

Madame le Docteur Lucie BEYLACQ

Rapporteur

Monsieur le Professeur Antoine DRIZENKO

Présidente du Jury

Madame le Professeur Karine NOUETTE-GAULAIN

Membres du Jury

Monsieur le Professeur Michel MONTAUDON

Monsieur le Docteur Matthieu BIAIS

Madame le Docteur Cécile DEGRYSE

Madame le Docteur Lucie BEYLACQ

REMERCIEMENTS

À Madame le Professeur Karine NOUETTE-GAULAIN, présidente du jury :

Vous me faites le grand honneur de présider ce jury de thèse et je vous en remercie. J'ai pu apprécier durant mon internat vos qualités humaines et votre disponibilité. Votre investissement dans notre formation est admirable. J'espère être à la hauteur de votre confiance. Ce travail est un témoignage de mon estime et de mon profond respect.

À Monsieur le Professeur Michel MONTAUDON, juge :

Je suis très honoré que vous ayez accepté de juger ce travail. Votre regard de radiologue et votre expertise m'importent beaucoup. Depuis vos cours et vos travaux pratiques en anatomie durant mon premier cycle d'études médicales, votre formation n'a cessé de m'être utile, je vous en suis sincèrement reconnaissant.

À Monsieur le Docteur Matthieu BIAIS, juge :

Je vous remercie de vos qualités scientifiques et de la rigueur que vous nous transmettez par votre enseignement. Merci aussi d'avoir accepté de faire partie de ce jury de thèse. Soyez assuré de ma gratitude et de mon profond respect.

À Madame le Docteur Cécile DEGRYSE, juge :

Sans avoir eu l'occasion de bénéficier de votre expertise durant ma formation, votre regard sur ce travail de thèse me paraissait primordial étant donné vos compétences dans ce domaine. Je suis honoré de vous compter parmi les membres de ce jury.

À Madame le Docteur Lucie BEYLACQ, directrice de thèse et juge :

Te remercier de m'avoir proposé ce sujet de thèse me paraît trop peu. L'exactitude de tes conseils, ta disponibilité et ta promptitude ont été remarquables, je t'en suis profondément reconnaissant. J'espère avoir été à la hauteur de la confiance que tu m'as accordée.

À Monsieur le Professeur Antoine DRIZENKO, rapporteur de thèse :

Je suis très honoré de votre coopération dans la finalisation de ce travail. Je vous remercie pour votre appréciation en tant que rapporteur et pour vos remarques judicieuses. Soyez assuré de mon plus grand respect.

À Monsieur le Docteur Denis JOCHUM :

Merci pour la pertinence de votre relecture et pour l'intérêt que vous portez à ce travail.

À ma mère et à Jacques, malgré ces années volées par la distance, votre soutien sans faille, votre générosité et votre dévotion au cours de ces longues études, sont le socle de ce que je peux être aujourd'hui.

À mon père, pour ta bienveillance et les valeurs humaines que tu m'as transmises.

À ma famille, sur laquelle j'ai pu compter. À votre affection et votre compréhension malgré mes absences et la distance.

À Viviane et Claude, pour votre accueil, votre générosité et votre compréhension.

Au professeur Marc MAILLET, étudiant, j'ai compulsé vos écrits, j'ai appris encore davantage à vos côtés autour d'un verre de Lagavulin. **À Christiane**, pour ton aide cruciale.

À mes amis d'enfance, Alexis, Antoine, Bertrand, Paul, PJ, Xavier, pour me montrer autre chose que la médecine : les voyages, les vacances, les sorties. *Du soleil et du bonheur qui passaient sur la mer...*

À Mathilde, « la voix » de P1, la coloc de l'externat, la sous-colleuse hors pair, l'amie malgré la distance de l'internat.

Aux copains de l'externat, Tim, Marie, Gros Romain, Yogy, Barbie, Maxime, Olivier, Paul, Michon, Gaëtan, Audrey et ceux que j'oublie avec qui je n'ai pas que travaillé...

À tous les co-internes d'anesthésie-réanimation, pas seulement des collègues mais aussi des amis : ceux de la promo avec qui j'ai partagé autant de colocs que de chambres de garde, Benjamin (Ben, Bénuche, Benben, mon bon dalon péï) et Coline (on est quand même pas mal à Bordeaux !) ; ceux de la Réunion et de Bordeaux, Mimi, Bérénice, Myriem, Céline, Hugo, Romain, Benoît, Robinus, Henri-Louis, Marie, Nicolas, Caroline, Simon, Yann, Isabelle, Ian, Suzanne, Laure, Laetitia, Fanny, Stan, Marina, Florian, Margot, Thomas, Pierre-André, Mylène, Marie, Barbara, Karim, Brigitte, Amandine...

Aux médecins auprès desquels j'ai tant appris durant ces cinq années. Ceux qui ont su me transmettre leur savoir, leur rigueur, leur humilité, leur empathie, j'espère être digne de votre enseignement.

À tous les soignants, de réanimation ou de bloc opératoire, ceux qui m'ont soutenu dans les épreuves et avec qui j'ai pu me former, travailler, partager et me détendre.

À Nathalie, pour ton aide logistique précieuse, avec **Patricia et Dominique**, sans qui le pôle ne pourrait pas fonctionner.

Aux patients et à leur mansuétude envers les étudiants en formation.

Aux rencontres à l'hôpital et ailleurs, à la Réunion et à Bordeaux

À la pk8 et ses habitants invraisemblables : Cédric le Salazien volant, Charlie le gentil, Fallot « c'est énorme », Ben et Mimi, ma famille cette dernière année.

À Claire, tu m'as supporté durant ces études, ces années, ces étapes, j'ignore encore comment tu y arrives. La perspective d'un avenir à tes côtés reste ma meilleure motivation.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	3
TABLE DES MATIÈRES	6
TABLE DES TABLEAUX ET FIGURES	8
ABRÉVIATIONS	9
PREMIÈRE PARTIE : Approche anatomique et échographique du bloc axillaire dans la chirurgie de la main.....	10
I - Introduction	10
II - Anatomie de la fosse axillaire	10
III - Anatomie du nerf périphérique	14
1 - Architecture du nerf	15
2 - Le paranèvre.....	16
IV - Évolution des techniques en ALR	17
V - L'échographie en ALR.....	18
1 - Généralités en échographie	18
2 - Application sono anatomique en ALR.....	19
VI - Le bloc axillaire échoguidé.....	20
1 - Échorepérage en axillaire.....	20
2 - Technique de ponction échoguidée pour le bloc axillaire.	23
DEUXIÈME PARTIE : Evaluation de l'injection sous-paraneurale dans le bloc axillaire échoguidé : étude prospective randomisée contrôlée	25
I - Introduction	25
1 - Problématique : quel est le site d'injection optimal concernant le bloc axillaire ?.....	25
2 - Hypothèse et objectif	29
II – Matériels et méthodes.....	29
1 - Approbation du Comité de Protection des Personnes.....	29
2 - Critères d'inclusion et d'exclusion.	29
3 - Matériels	30
4 - Praticiens ayant participé à l'inclusion.	30
5 - Mise en condition et méthode.....	30
6 - Randomisation et aveugle	32
7 - Analyse de l'installation du bloc sensitivo-moteur.....	32

8 - Prise en charge post opératoire et suivi des patients	34
9 - Recueil de données et statistiques.....	35
III - Résultats	35
IV - Discussion.....	41
1 - Efficacité et prédictibilité de l'injection sous-paraneurale	42
2 - Technique d'injection périneurale dans la littérature.....	43
3 - Durée d'action de l'AL en périneural et en sous-paraneural	44
4 - Lésions neurologiques : injections intraneurales, paresthésies.....	44
5 - Limites et perspectives.....	45
V - Conclusion	46
BIBLIOGRAPHIE	47
SERMENT D'HIPPOCRATE	51
RÉSUMÉ.....	52

TABLE DES TABLEAUX ET FIGURES

Figure n° 1 : Anatomie de la fosse axillaire

Figure n° 2 : Rapport des artères et nerfs du bras avec l'humérus

Figure n° 3 : Dessin de l'organisation du plexus brachial des racines aux nerfs

Figure n° 4 : Planche de dissection de la fosse axillaire

Figure n° 5 : Dermatomes, myotomes et sclérotomes du membre supérieur

Figure n° 6 : Coupes petit axe d'un nerf périphérique

Figure n° 7 : Architecture histologique du nerf périphérique

Figure n° 8 : Repères superficiels de la fosse axillaire et position de la sonde d'échographie.

Figure n° 9 : Coupe anatomique de la fosse axillaire (A) avec détails d'intérêts (B)

Figure n° 10 : Image échographique de la fosse axillaire (CFXM, CHU Bordeaux 2013)

Figure n° 11 : Variations topographiques des nerfs du plexus brachial par rapport à l'artère axillaire

Figure n° 12 : Coupe échographique d'une ALR du plexus brachial en axillaire

Figure n° 13 : Vues multi-orthogonales en 3 dimensions de la diffusion sous-paraneurale de l'AL par rapport au nerf sciatique au niveau poplité

Figure n° 14 : Protocole d'étude avec les différents temps et délais mesurés

Figure n° 15 : Images échographiques de la fosse axillaire avant (A et A') et après (B et B') injection en sous-paraneural

Figure n° 16 : Reconstitutions tridimensionnelles d'images échographiques de la fosse axillaire avant (A) et après (B, C, D) injection d'anesthésique local en sous-paraneural.

Figure n° 17 : Temps total d'anesthésie réparti en temps de repérage + temps de ponction + temps d'installation du bloc.

Figure n° 18 : Délais d'installation moyens du bloc sensitif complet en fonction des nerfs et des groupes

Figure n° 19 : Pourcentage de patients avec un score sensitif complet en fonction du temps

Tableau n° 1 : Données anthropométriques des patients inclus

Tableau n° 2 : Performances et réalisation du bloc axillaire en fonction des groupes.

ABRÉVIATIONS

2D : 2 Dimensions

3D : 3 Dimensions

ALR : Anesthésie Loco-Régionale

BAx : Bloc Axillaire

CFXM : Centre François Xavier Michelet

EVA : Echelle Visuelle Analogique

DS : Déviation Standard

M : Médian

MC : Musculo-Cutané

PA : Groupe Paraneural

PN : Groupe PériNeural

R : Radial

U : Ulnaire

PREMIÈRE PARTIE

APPROCHE ANATOMIQUE ET ÉCHOGRAPHIQUE DU BLOC AXILLAIRE DANS LA CHIRURGIE DE LA MAIN

I – INTRODUCTION

Le centre François Xavier Michelet (CFXM) du CHU de Bordeaux accueille la chirurgie programmée ou urgente de la main et du poignet. Ces interventions se déroulant le plus souvent en ambulatoire, l'anesthésie loco-régionale (ALR) est privilégiée à l'anesthésie générale car elle ne nécessite ni gestion des voies aériennes, ni phase de réveil.

La main est innervée par 3 nerfs : les nerfs médian (M), radial (R) et ulnaire (U). Le nerf musculo-cutané (MC), qui innerve le muscle biceps, doit lui aussi être pris en compte pour permettre la mise en place du garrot chirurgical. Concernant la chirurgie du poignet, le nerf cutané médial de l'avant bras doit être pris en compte. En ALR, au niveau axillaire, il n'a pas besoin d'être recherché puisque contenu dans l'espace de diffusion entre les nerfs M et U.

Ces 5 nerfs sont regroupés à la racine du membre thoracique, au niveau de la fosse axillaire. L'ALR réalisée à ce niveau, appelée « bloc axillaire », est donc la technique anesthésique de choix pour la chirurgie de la main avec garrot.

II – ANATOMIE DE LA FOSSE AXILLAIRE

En ALR, la connaissance de l'anatomie et de la sono-anatomie est donc un prérequis indispensable pour réaliser un bloc anesthésique en toute sécurité et avec précision.

La fosse axillaire (figure n° 1) correspond anatomiquement à une pyramide tronquée limitée par 4 parois : en avant les pectoraux et l'aponévrose clavi-pectoro-axillaire, en arrière les muscles subscapulaire, petit et grand ronds et le grand dorsal, en dedans le dentelé antérieur et en dehors les muscles biceps brachial et coraco-brachial. Cheminent dans la fosse axillaire de nombreuses structures vasculaires, nerveuses et lymphatiques : l'artère axillaire et ses collatérales, les veines axillaires, la veine basilique, les groupes de ganglions lymphatiques et les nerfs périphériques issus des faisceaux du plexus brachial (1).

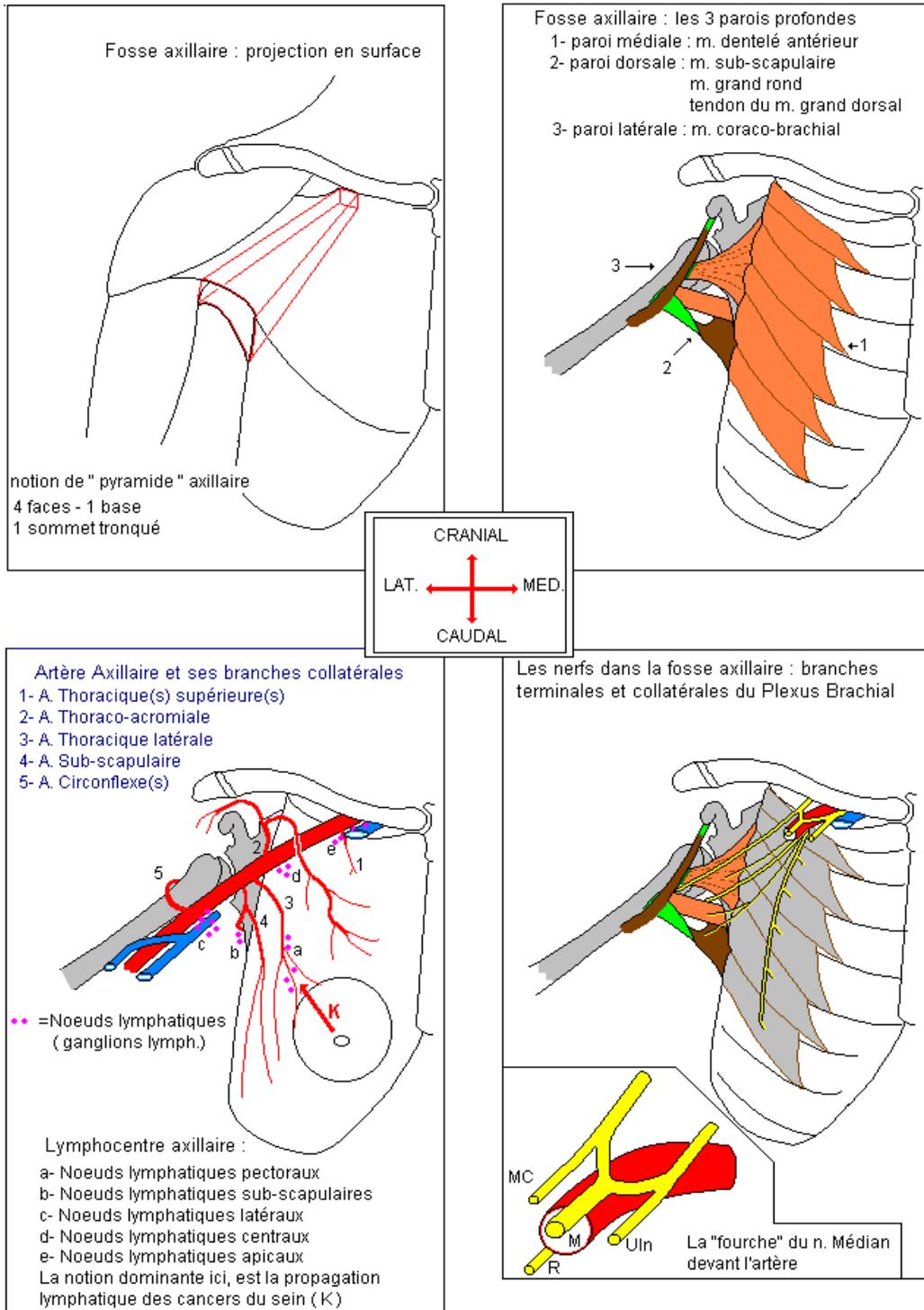


Figure n° 1 : Anatomie de la fosse axillaire (1).

La fosse axillaire sépare les contingents vasculo-nerveux subclaviers de ceux de la région brachiale. Dans la fosse axillaire, l'artère axillaire donne 6 branches collatérales principales. Puis l'artère axillaire se poursuit par l'artère brachiale dont la première collatérale est l'artère profonde du bras, au bord inférieur du tendon du muscle grand dorsal. Le nerf radial suivant l'artère profonde du bras prend un trajet profond vers le triceps brachial dans le sillon radial à la face postérieure de l'humérus (figure n° 2).

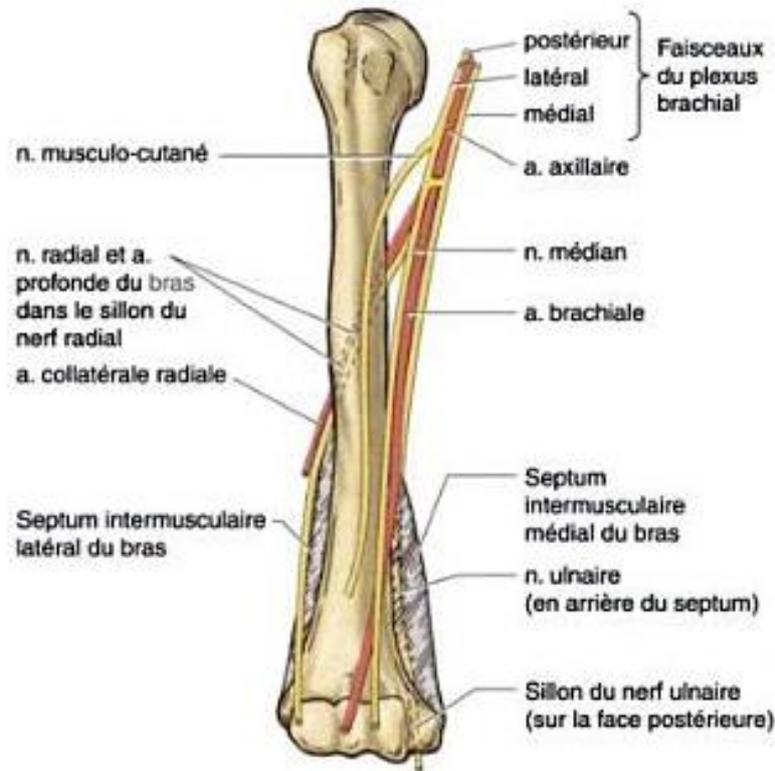


Figure n° 2 : Rapport des artères et nerfs du bras avec l'humérus (2).

Le plexus brachial est issu des rameaux antérieurs des racines nerveuses vertébrales entre la cinquième cervicale et la première thoracique. Les divisions des racines, troncs et faisceaux nerveux en nerfs périphériques sont schématisées et disséqués en figure n° 3 et 4. Le plexus brachial se distribue ensuite aux muscles et aux téguments de la ceinture scapulaire et du membre thoracique. Les nerfs de la fosse axillaire sont les branches terminales de ce plexus :

- Le nerf R provient du faisceau postérieur.
- Le nerf M provient des faisceaux ventro-latéral et médial.
- Le nerf U naît du faisceau ventro-médial.
- Le nerf MC provient du faisceau ventro-latéral.

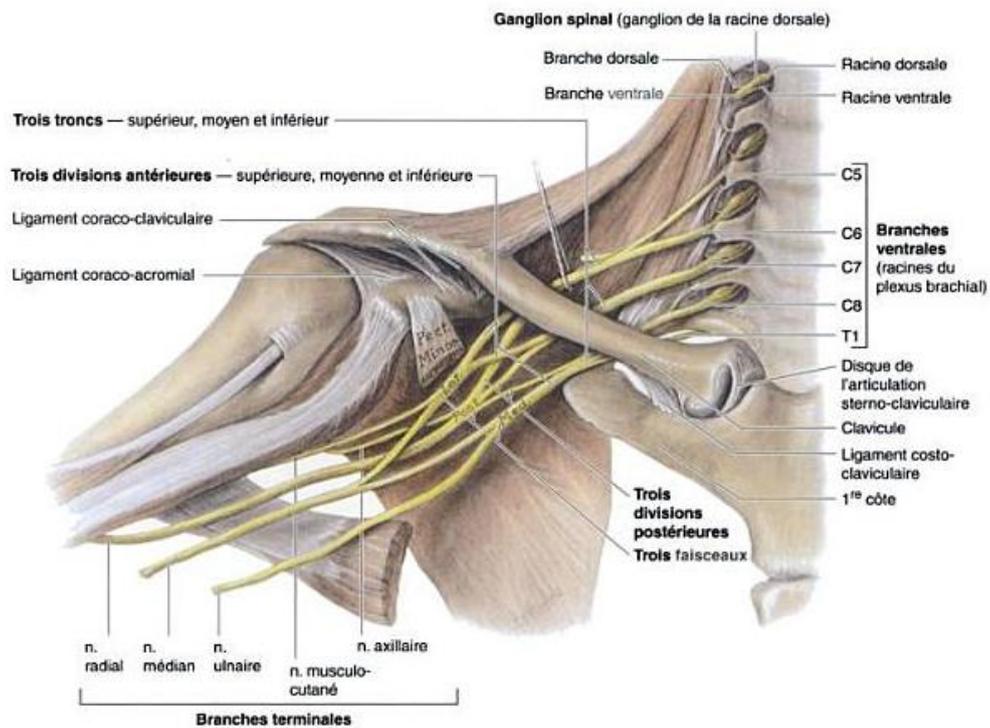


Figure n° 3 : Dessin de l'organisation du plexus brachial des racines aux nerfs (2).

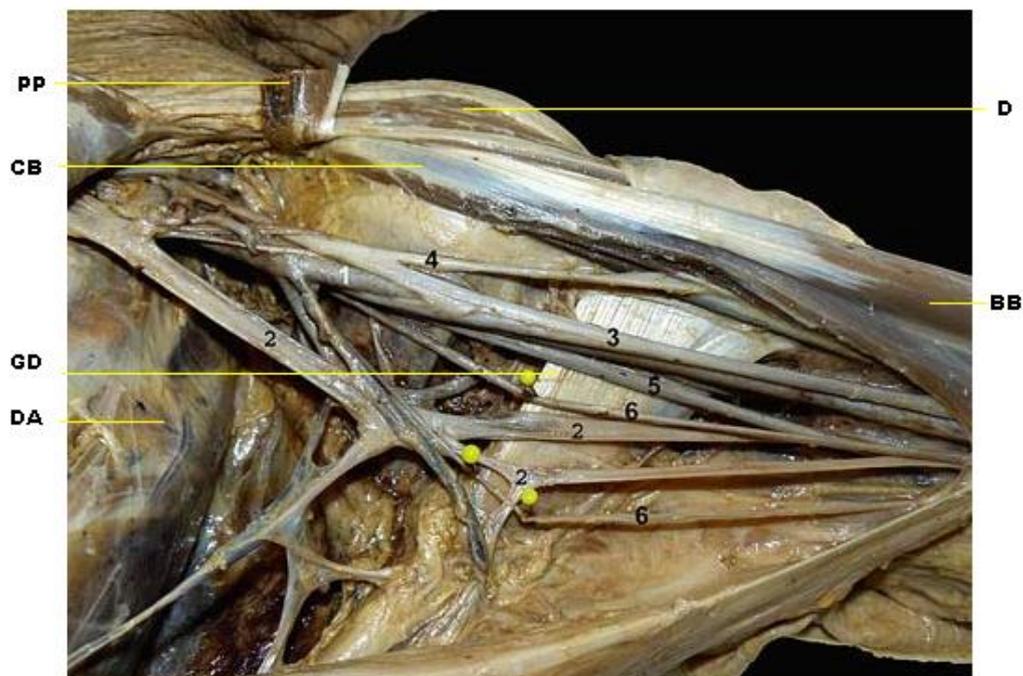


Figure n° 4 : Planche de dissection de la fosse axillaire (3).

1 : Artère axillaire. 2 : Veine axillaire (réclinée). 3 : Nerf médian. 4 : Nerf musculocutané. 5 : Nerf ulnaire. 6 : Nerfs cutané médial du bras et de l'avant bras. PP : Muscle petit pectoral (sectionné). CB : Muscle coraco-brachial. GD : Muscle grand dorsal. DA : Muscle dentelé antérieur. D : Muscle deltoïde (sectionné). BB : Muscle biceps brachial (chef court).

Un autre nerf chemine dans la fosse axillaire, destiné à l'innervation sensitive de la peau du bras. Le nerf cutané médial du bras se situe en dehors de l'espace de diffusion axillaire. Il est issu du faisceau ventro-médial du plexus brachial et chemine au niveau de l'hypoderme et en dedans sur la coupe échographique de la fosse axillaire.

Lorsque la chirurgie requiert un abord cutané au niveau de l'avant-bras ou du coude, la réalisation d'une injection particulière, visant l'anesthésie de la face interne du bras, est nécessaire. Cette anesthésie, appelée « traçante », est réalisée par une injection d'AL sur plusieurs centimètres en sous-cutanée au bord inférieur du deltoïde. A ce niveau là chemine l'anastomose de Hyrtl, formée des nerfs cutané médial du bras et intercostobrachial. Ce dernier n'appartient pas au plexus brachial et est issu des racines T1-T2 par les rameaux perforant latéraux des deux premiers nerfs intercostaux. En ce qui concerne la chirurgie de la main et du poignet, l'injection d'une « traçante » n'est donc pas indiquée.

Les territoires sensitifs à destination cutanée, musculaire et osseuse sont représentés en figure n° 5 (4).

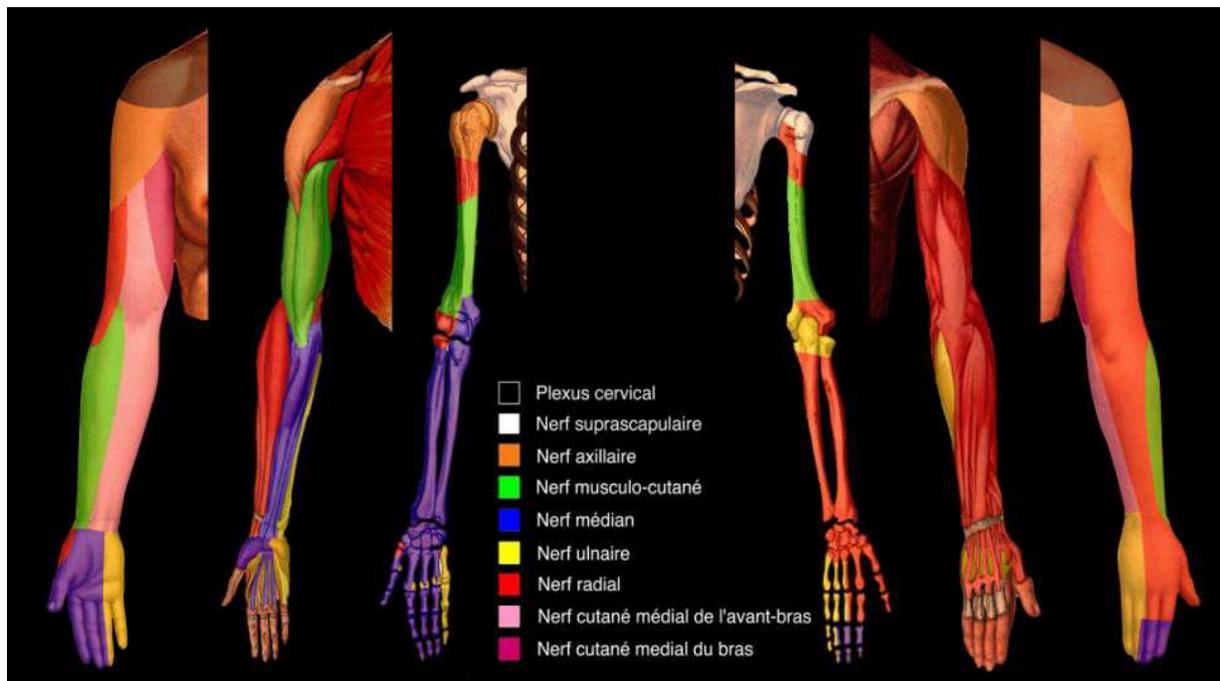


Figure n° 5 : Dermatomes, myotomes et sclérotomes du membre supérieur (4).

III – ANATOMIE DU NERF PÉRIPHÉRIQUE

1 - Architecture du nerf

Le nerf périphérique est composé de fibres axonales et de plusieurs couches de tissus conjonctifs (figures n° 6 et 7) (5,6).

Les axones invaginés dans les cellules de Schwann sont séparés entre eux par l'endonèvre. Le fascicule regroupe un ensemble d'axones et des vaisseaux capillaires sanguins (vasa nervorum). Ces fascicules sont entourés de tissu conjonctif intraneural appelé périnèvre. Ces fascicules sont séparés entre eux par l'épinèvre interfasciculaire, un tissu conjonctif lâche.

L'ensemble ainsi décrit constitue le nerf périphérique dont la limite est l'épinèvre extrafasciculaire, pouvant correspondre à la peau du nerf. Le paranèvre délimite le nerf périphérique de son environnement en l'encapsulant comme une écorce conjonctive. Il permet le glissement du nerf par rapport aux structures adjacentes lors des mouvements des membres. Entre les muscles et les nerfs, du tissu conjonctif fait la transition jusqu'à l'épimysium, la membrane recouvrant les muscles.

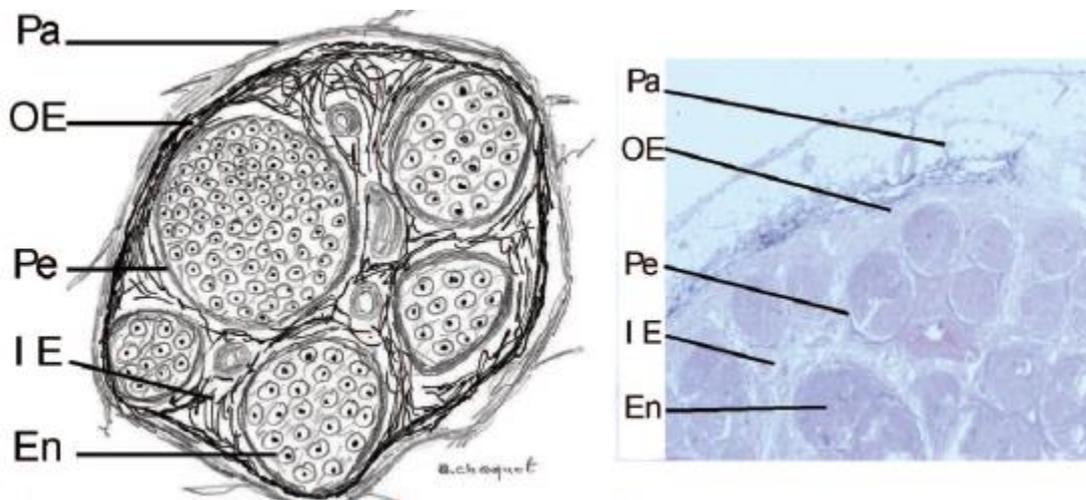


Figure n° 6 : Coupes petit axe d'un nerf périphérique (dessinée à gauche, histologique x 20 à droite) (5).

En : Endoneurium (endonèvre), Pe : Perineurium (périnèvre), IE : Inner epineurium (épinèvre interfasciculaire), OE : Outer epineurium (épinèvre extrafasciculaire), Pa : Paraneurium (paranèvre)

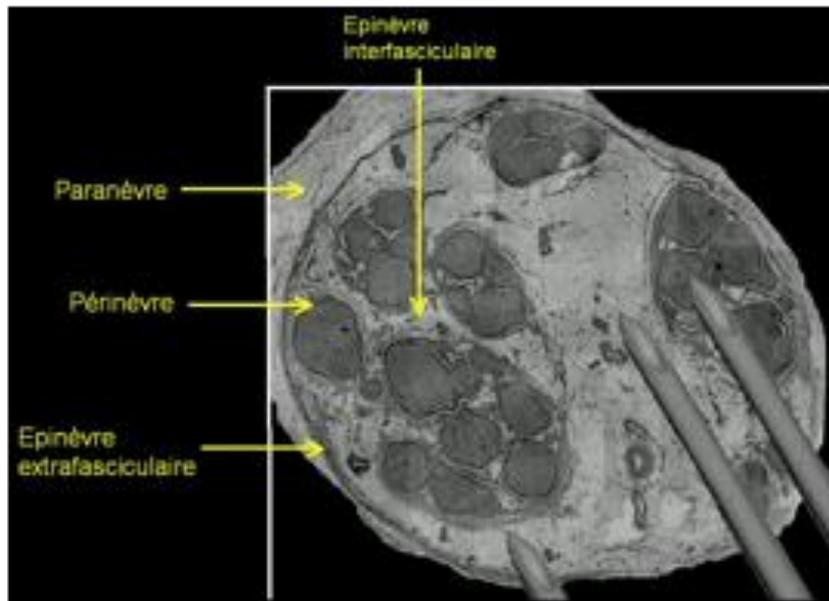


Figure n° 7 : Architecture histologique du nerf périphérique (aiguille d'ALR en surimpression pour comparer leur taille à celle des fascicules) (6).

2 - Le paranèvre

Les analyses histologiques définissent le tissu conjonctif qui entoure les muscles, l'épimysium et celui qui entoure les structures nerveuses, le paranèvre. Cette couche, déjà décrite au début du XXème siècle par le chirurgien Victor Pauchet (7), est au contact même du nerf et distinct de celui ci, entourant tous les nerfs périphériques comme la combinaison d'un surfeur.

On retrouve différentes nomenclatures correspondant à cette structure histologique dans la littérature : appareil de glissement (8), gaine ou feuillet épineural (9,10), mesoneurium (11) ou paraneurium ou paranèvre (12,13).

Pour éviter toute source de confusion, ce fascia est appelé par convention paraneurium ou paranèvre. Il correspond à une extension de la lame prévertébrale du fascia cervical réalisant un plan de clivage entre les nerfs périphériques et le tissu conjonctif les entourant (12,14). Cette gaine sert de jonction avec les tissus conjonctifs environnants, protège le nerf et lui permet de glisser entre les structures adjacentes lors des mouvements des membres, sans subir d'étirement, d'élongation ou de lésion (13). Ce tissu conjonctif lâche existe autour de chaque nerf périphérique. Cela concerne aussi les quatre nerfs du plexus brachial au niveau axillaire.

IV – ÉVOLUTION DES TECHNIQUES EN ALR

Les techniques d'ALR, pratiquées dès la fin du XIX^{ème} siècle, ont connu une évolution patente. A l'origine, des injections de dérivés de cocaïne étaient directement administrées par le chirurgien dans le nerf visualisé lors de l'acte chirurgical (15). Par la suite, des techniques percutanées se sont développées afin d'éviter l'abord nerveux à ciel ouvert. Grâce aux connaissances anatomiques, les injections s'effectuaient à partir de paresthésies mécaniques ressenties par le patient. En effet, la promiscuité de l'aiguille par rapport au nerf est à l'origine de sensations désagréables, voire douloureuses (16), qui renseignent sur la localisation du nerf concerné. Néanmoins, cette technique était grevée d'un fort taux de lésions neurologiques (17).

Moins traumatiques pour le nerf, des techniques d'injections se repérant par rapport aux structures anatomiques à proximité des nerfs sont apparues : un contact osseux, une ponction vasculaire, une sensation de passage par l'aiguille d'un fascia ou d'un tendon. C'est ainsi qu'est née la technique trans-artérielle au niveau de la fosse axillaire, en se référant aux rapports très étroits entre l'artère axillaire et les nerfs du plexus brachial. En repérant le pouls axillaire, l'aiguille transfixiait l'artère et l'injection était réalisée à proximité. Cette technique sera finalement abandonnée au début du XX^{ème} siècle à cause des complications vasculo-nerveuses et du fort taux d'échec (18).

Parallèlement, la découverte de la neurostimulation a permis aux régionalistes de cibler l'injection d'anesthésique local (AL) au plus près des nerfs. Cette technique, toujours recommandée par la Société Française d'Anesthésie Réanimation (19), consiste à s'approcher du nerf avec une aiguille reliée à un neurostimulateur. L'aiguille est introduite selon des repères anatomiques de surface préétablis. Elle est dirigée vers la position présumée du nerf, associée au neurostimulateur initialement réglé avec un courant élevé (environ 1,5 mA) pour faciliter le repérage du nerf. L'extrémité de l'aiguille, en s'approchant du nerf, déclenche une réponse motrice. Le seuil de stimulation optimal, répondant à la fois aux impératifs de sécurité - éviter une injection intraneurale - et d'efficacité - injecter au plus près du nerf - a toujours été controversé. En effet, plusieurs auteurs, dont Perlas et al. (20) et Bigeleisen et al. (21), ont bien montré la faible corrélation existant entre le contact nerveux et la réponse motrice et/ou l'obtention de paresthésies. Aussi, le neurostimulateur a été validé comme un outil très spécifique mais peu sensible pour détecter l'emplacement exact de l'extrémité de

l'aiguille par rapport à l'enveloppe du nerf. On comprend ainsi son fort taux d'efficacité, néanmoins accompagné d'un risque non négligeable de lésion traumatique et d'injection intraneurale. Plus l'intensité de stimulation est basse, plus l'aiguille est au contact des fibres nerveuses. Malgré la faible sensibilité de la neurostimulation, le seuil de 0,5 mA a été retenu comme valeur en deçà de laquelle l'injection n'est pas souhaitable en présence d'une réponse motrice.

Enfin, l'apport de l'échographie en ALR a révolutionné l'abord nerveux. Transposant l'anatomie connue sur cadavre ou sur planche en sono-anatomie visualisée en temps réel (3) et de surcroît dynamique, l'échographie a permis de réaliser avec plus d'efficacité et de rapidité les blocs anesthésiques, améliorant les performances mais aussi leur délai d'installation (22). Néanmoins, les techniques échoguidées ne se sont pas totalement affranchies de la neurostimulation, qui, utilisée en sentinelle, participe à augmenter la sécurité de l'injection (23). En effet, malgré la visualisation des nerfs en échographie, il n'est pas toujours possible d'apprécier précisément la position de l'extrémité de l'aiguille (24). Enfin, pour multiplier les outils sécuritaires, l'ultime barrière à l'injection intraneurale, valable dans toutes les techniques de bloc, reste d'éviter absolument d'injecter en cas de résistance, cette dernière étant un bon signe d'injection intrafasciculaire (25).

V – L'ÉCHOGRAPHIE EN ALR

1 - Généralités en échographie

En utilisant la résonance des ultrasons en fonction de la profondeur et de la densité des tissus, l'échographie permet d'acquérir des images et une résolution spatiale de qualité. Des fréquences ultrasonores basses ou intermédiaires inférieures à 10 MHz permettent de visualiser les structures d'une profondeur supérieure à 5 cm, les hautes fréquences supérieures à 10 MHz concernent les structures plus superficielles. Ce sont ces dernières qui sont utiles en ALR. Pour le bloc axillaire (BAx), le plexus brachial s'articulant autour de l'artère axillaire qui se situe entre 1 cm et 3 cm de profondeur sous la peau, une sonde linéaire tissulaire haute fréquence de 18 MHz est employée.

Les principaux réglages en ALR concernent la profondeur adaptée aux structures à explorer, le gain pour une image d'une brillance homogène, le contraste permettant d'amplifier les contours des structures et la focalisation visant la structure d'intérêt. Pour le BAx, les

préréglages sont une profondeur maximale à 3 cm, un gain évitant la surbrillance, un contraste et une focale adaptés sur l'artère axillaire.

L'anisotropie correspond à la modification des images obtenues en faisant varier l'incidence d'abord des ultrasons par rapport aux structures étudiées. Elle permet de différencier les nerfs des tendons et des muscles par une simple inclinaison de la sonde échographique. Les nerfs, tendons et autres structures sont illuminés ou éteints grâce à cette propriété des ultrasons ; de ce fait l'anisotropie est très utile pour la réalisation des blocs en ALR.

Le doppler couleur permet le repérage des structures vasculaires. Il est utile en ALR pour éviter de méconnaître un élément vasculaire et pour différencier artère et veine. Son utilisation diminue le risque d'injection ou de lésion vasculaire (26).

2 - Application sono anatomique en ALR

Les structures liquidiennes sont traversées par les ultrasons. Anéchogènes, les artères et les veines apparaissent donc en noir. L'artère est pulsatile à la pression de la sonde échographique et au doppler ; la veine est COMPLIANTE et s'écrase sous la sonde. L'AL, une fois injecté, apparaît comme une flaque hypoéchogène.

Les structures osseuses ne laissent pas passer les ultrasons : leur surface est hyperéchogène, laissant un cône d'ombre postérieur.

Les tissus mous ont une échogénicité variable. Les fascias apparaissent comme des membranes hyperéchogènes homogènes. Les muscles sont hypoéchogènes, leurs fibres les rendent hétérogènes. Les tendons sont hyperéchogènes et assez homogènes. La graisse est hypoéchogène et hétérogène.

Abordé dans son petit axe, la racine nerveuse est hypoéchogène, homogène, grise cerclée de blanc, puis devient le nerf périphérique (26). Ce dernier est recherché sur la coupe échographique comme une structure ronde en petit axe non compressible, formée de tissu neural hypoéchogène (sombre) séparé par du tissu conjonctif lâche hyperéchogène (clair). On obtient un aspect hétérogène décrit comme en « nid d'abeille » (27) dont l'échogénicité augmente en fonction de sa richesse en tissu conjonctif (28).

VI – LE BLOC AXILLAIRE ÉCHOGUIDÉ

1 - Échorepérage en axillaire

Pour visualiser la fosse axillaire en échographie, le patient est positionné le bras en abduction à 90°, l'avant-bras en extension. La sonde linéaire tissulaire 18 MHz de l'échographe Logic P6 (GE Healthcare, General Electric Company) du CFXM est placée dans le creux axillaire, perpendiculairement au sillon du grand pectoral (figure n° 8) (3). Lorsqu'il chemine distalement dans le sillon du nerf radial avec l'artère profonde du bras, le nerf radial devient inaccessible à une visualisation échographique correcte. C'est pourquoi le plan de coupe de la sonde d'échographie doit se situer au niveau de la fosse axillaire en amont de l'issue de l'artère profonde du bras.

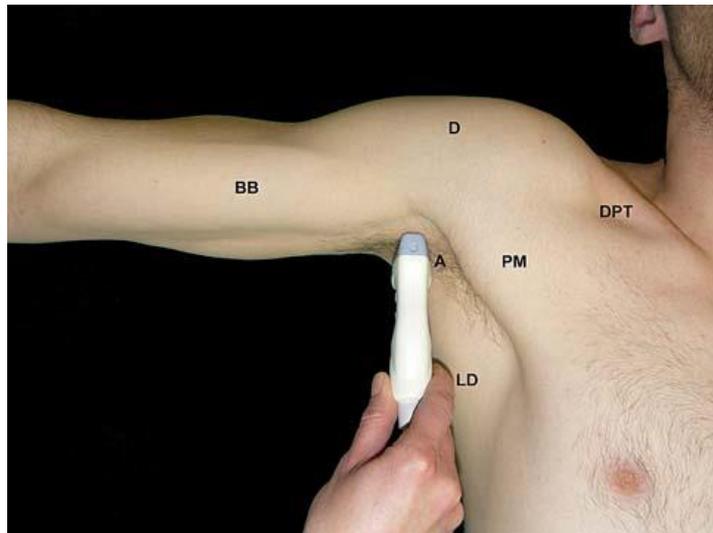


Figure n° 8 : Repères superficiels de la fosse axillaire et position de la sonde d'échographie. (3).
BB : Muscle biceps brachial, D : Muscle deltoïde, PM : Muscle grand pectoral, A : Fosse axillaire, LD : Muscle grand dorsal, DPT : Triangle delto-pectoral.

On visualise alors l'artère axillaire, élément central du paquet vasculo-nerveux, en petit axe sous forme d'une structure ronde hypoéchogène pulsatile. Autour de l'artère axillaire se répartissent les nerfs du plexus brachial (figures n° 9 et n° 10) (3).

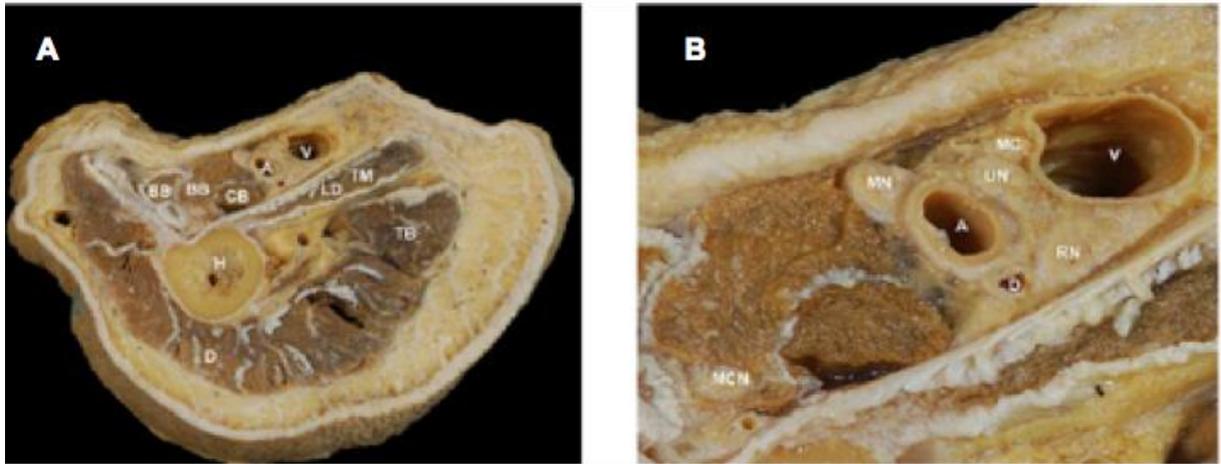


Figure n° 9 : Coupe anatomique de la fosse axillaire (A) avec détails d'intérêts (B) (3).
 MN : nerf médian. UN : nerf ulnaire. A : artère axillaire. MCN : nerf musculo-cutané. CB : muscle coraco-brachial. V : veine basilique. RN : nerf radial. MC : nerf cutané médial de l'avant bras. LD : muscle grand dorsal. D : deltoïde. BB : biceps brachial. TB : triceps brachial. H : humérus.

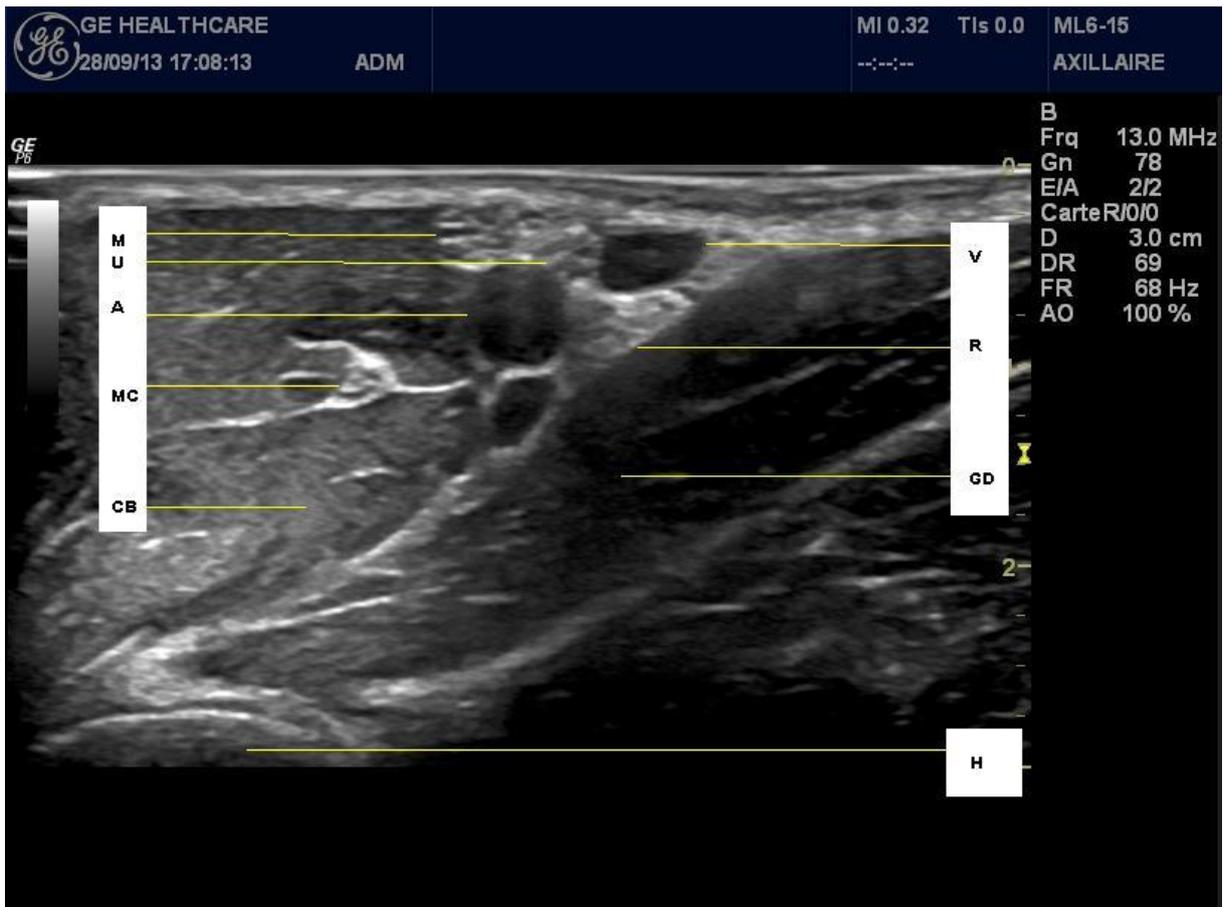


Figure n° 10 : Image échographique de la fosse axillaire (CFXM, CHU Bordeaux 2013).
 M : nerf médian. U : nerf ulnaire. A : artère axillaire. MC : nerf musculo-cutané. CB : muscle coraco-brachial. V : veine basilique. R : nerf radial. GD : muscle grand dorsal. H : humérus.

Classiquement, dans 65 % des cas selon Christophe et al. (29), on retrouve la distribution suivante autour de l'artère axillaire :

- Le nerf M est accolé antérieurement et latéralement à l'artère.
- Le nerf U est médial à l'artère, accolé à la veine.
- Le nerf R est postérieur à l'artère, un peu médial et s'enfonce rapidement dans le sillon radial de l'humérus, en postérieur en quittant la fosse axillaire comme vu précédemment (figure n° 2). Il est donc primordial de disposer la sonde en amont de la naissance de l'artère profonde du bras pour visualiser le nerf radial sur la coupe échographique.
- Le nerf MC est quant à lui situé entre les muscles biceps brachial et coraco-brachial. Il peut toutefois, dans 5 % des cas, être accolé voire fusionné avec le nerf médian (29).

Des différences topographiques dans la répartition des nerfs du plexus brachial autour de l'artère axillaire ont été rapportées dès 2001 par Retzl et al. (30), décrites par Christophe et al. (29) : elles sont reportées en figure n° 11. Ces variations sono-anatomiques sont fréquentes et expliquent en partie les taux de succès variables des différentes techniques pour le BAx.

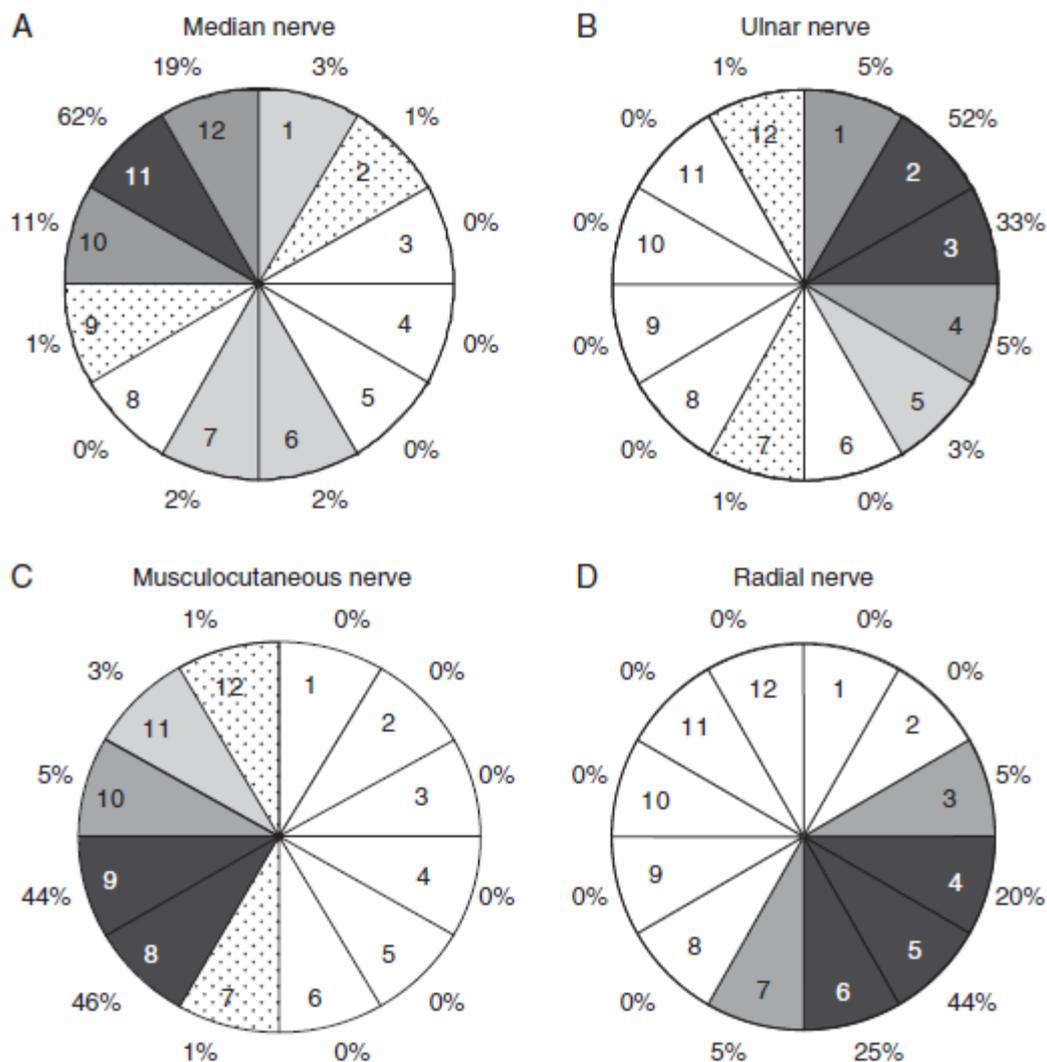


Figure n° 11 : Variations topographiques des nerfs du plexus brachial par rapport à l'artère axillaire (% de distribution des nerfs (A) médian, (B) ulnaire, (C) musculo-cutané et (D) radial) (29).

2 - Technique de ponction échoguidée pour le bloc axillaire

L'aiguille aborde le plan de coupe échographique par le côté antérieur et latéral. Elle est insérée à un demi centimètre de la sonde, perpendiculairement à la peau, jusqu'à 1 cm de profondeur. Elle est ensuite réorientée horizontalement, quasi parallèle à la peau, pour permettre de l'aligner dans le faisceau de la sonde d'échographie. La meilleure visualisation de l'aiguille est retrouvée pour un angle minimal de 75° avec les ultrasons (31). En effet, plus les structures sont perpendiculaires aux faisceaux d'ultrasons, plus l'écho est important, permettant une meilleure visualisation échographique. Dès lors, l'aiguille est mobilisée dans le plan horizontal pour entrer parfaitement dans le champ des ultrasons (32). Alignée avec la

sonde d'échographie, l'aiguille apparaît hyperéchogène avec parfois des artefacts postérieurs de réverbération (figure n° 12). Enfin, la cible identifiée sur l'image, l'angle pour l'atteindre est défini et l'aiguille peut être avancée dans un plan cette fois vertical. Elle est ainsi visualisée sur l'ensemble de son trajet. Lors de l'injection, la diffusion de l'AL doit être visualisée. Elle apparaît sous la forme d'une « flaque » hypoéchogène. En cas de non visualisation, l'injection doit être stoppée immédiatement et un test d'aspiration de nouveau réalisé (19), le risque étant l'injection intravasculaire.

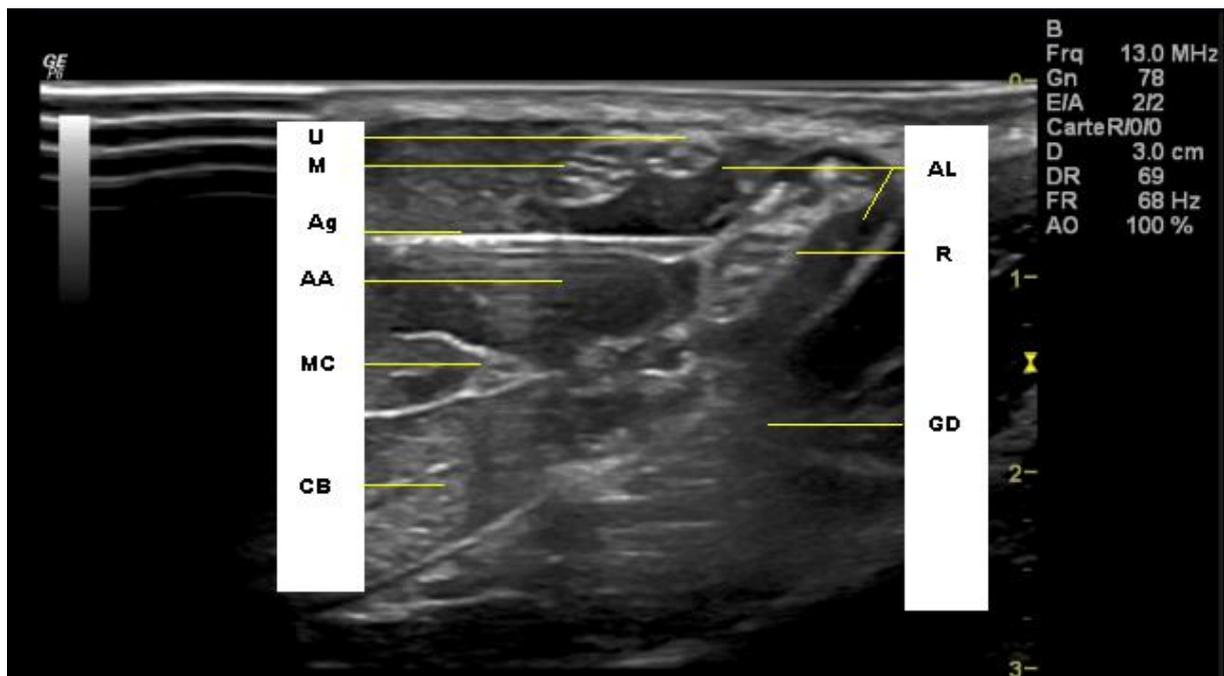


Figure n° 12 : Coupe échographique d'une ALR du plexus brachial en axillaire.
M : nerf médian. U : nerf ulnaire. AA : artère axillaire. Ag : aiguille. MC : nerf musculo-cutané.
CB : muscle coracobrachial. AL : flaque d'anesthésique local. R : nerf radial. GD : muscle grand dorsal.

DEUXIÈME PARTIE

ÉVALUATION DE L'INJECTION SOUS-PARANEURALE DANS LE BLOC AXILLAIRE ÉCHOGUIDÉ : ÉTUDE PROSPECTIVE RANDOMISÉE

I – INTRODUCTION

1 - Problématique : quel est le site d'injection optimal concernant le bloc axillaire ?

En ALR, l'objectif du praticien qui réalise un BAx est d'obtenir une efficacité de 100 % avec une technique facile, rapide à réaliser et dénuée de risque de complication nerveuse ou vasculaire.

La cible optimale pour l'injection de l'AL reste inconnue : l'anesthésiste doit-il chercher à déposer l'AL à distance du nerf (périvasculaire), au contact du nerf et tout autour de lui (périneural), sous la gaine du nerf (sous-paraneural) ou même au sein du nerf entre les fascicules (intraneural) ? (14,33-37).

Techniques d'injections périvasculaires échoguidées

Les techniques d'injection périvasculaire ont été décrites en échographie. Il s'agit de techniques standardisées, simples et rapidement réalisées, même par des novices. Ces techniques sont issues de la technique trans-artérielle. L'AL est désormais injecté autour de l'artère axillaire en 1, 2 ou 3 sites et non plus de part et d'autre de l'artère. Théoriquement, dans la technique périvasculaire, il n'y a pas de ponction artérielle. Il s'agit d'une technique standardisée où le repérage s'intéresse aux repères structurels de la fosse axillaire (tendon du grand dorsal et artère axillaire) et au nerf MC. Le repérage est donc facile et rapide, mesuré entre 45 et 83 secondes (38,39). L'injection, hormis celle sélective du nerf MC, est réalisée en périphérie de l'artère (38-40) avec un objectif de diffusion de l'AL autour de celle-ci en cocarde. La procédure de ponction est rapide, de 8,2 minutes (déviatoin standard (DS) 2,3 min) pour Bernucci et al. dans une stratégie en 2 injections (38) à 12,2 minutes (DS 3,8 min) pour Tran et al. dans une stratégie en 4 injections (3 autour de l'artère et 1 pour le nerf MC) (39). Néanmoins, le délai d'installation du bloc est long (de 18 à plus de 30 min) avec des durées totales d'anesthésie (temps de performance + délai d'installation du bloc anesthésique)

toujours supérieures à 30 min. De plus, si les taux de succès chirurgical sont élevés (89,3 à 97,5 %) (38,39) (40), un score sensitif complet (2/2 pour chacun des 4 nerfs) à 30 minutes n'est obtenu que pour 75 à 80 % des patients (38,39). Dans l'étude d'Imasogie et al., seul le succès concernant le bloc sensitivomoteur complet à 30 minutes est mentionné. Il est très faible : 32,5 % (40).

La technique périvasculaire, a priori proposée comme premier niveau d'apprentissage, doit néanmoins être repensée car le taux de complications associées est très élevé. En effet, le taux de ponction vasculaire atteint 24 % chez le novice (38), mais aussi 10 % chez l'expert (41). Les taux de paresthésie per procédures sont de 7,5 % à 17,5 %, même si aucun déficit n'est rapporté à distance.

Technique d'injection périnerveuse

En neurostimulation, la technique de référence était l'injection sélective après repérage des 4 nerfs. En échographie, cette technique péri-neurale, réalisée sous échoguidage et avec expertise, est actuellement celle qui apporte le taux de succès le plus élevé (entre 83 et 100 %), avec un taux de complication faible et un temps de réalisation de 7,4 minutes (DS 1,6 min) (22,42). Cette technique nécessite une expertise en sono anatomie et en technique de ponction échoguidée. En effet, chacun des 4 nerfs du plexus brachial doit être repéré avec certitude au niveau de la fosse axillaire. La maîtrise des réglages et de la technique échographique, ainsi que de la sono anatomie régionale est nécessaire. Une analyse dynamique de la sono anatomie neurale par mouvement de translation le long du trajet des nerfs aide à identifier chaque structure. Cette technique dite de « l'ascenseur » (30) (29), par un mouvement de va-et-vient de la sonde échographique de la fosse axillaire jusqu'au coude, permet le repérage des vaisseaux et nerfs. Une fois les 4 nerfs du plexus brachial identifiés, l'objectif de l'injection péri-neurale est une diffusion de l'AL en cocarde autour de chaque nerf.

La technique d'injection circonférentielle périnerveuse a été comparée aux autres techniques d'injection dans le bloc axillaire (43). C'est actuellement la technique de référence pour les experts avec un temps d'installation 27 % plus rapide que l'injection périvasculaire (38) et un taux de succès 20 % supérieur à la neurostimulation seule (22). Mais le temps total dédié à l'anesthésie (temps de performance + délai d'installation du bloc anesthésique) rapporté dans la littérature est proche de 30 minutes chez les experts (22,44) et excède les 40 minutes chez

les novices (38,40), sachant que certaines indications chirurgicales, telle que le canal carpien, ont une durée opératoire de moins de 10 minutes.

Comment l'échographie pourrait-elle nous permettre, aujourd'hui, d'améliorer le délai d'installation et la prédictibilité du succès de notre bloc anesthésique là ou hier elle nous permettait déjà d'améliorer le taux de succès ?

Technique d'injection sous-paraneurale

Grâce à l'échographie, l'AL est injecté en extraneural, en dehors de l'épinèvre extrafasciculaire, c'est l'injection périneurale. Plusieurs sites d'injections autour du nerf sont nécessaires pour obtenir une diffusion de l'AL en cocarde. Avec les progrès en termes de résolution échographique récents, un regain d'intérêt a lieu pour le paranèvre (45). En effet l'approche échoguidée permet d'injecter l'AL sous cette gaine ou « combinaison » du nerf, au contact direct du nerf, sans pourtant injecter en intraneural. L'injection sous-paraneurale de l'AL, sous ce feuillet conjonctif entourant le nerf, permet, grâce à un seul site d'injection sous le paranèvre, d'obtenir une diffusion circonférentielle. L'AL diffuse alors dans cette gaine paraneurale, le long du nerf. En échographie, cette diffusion peut être visualisée en translatant longitudinalement au trajet du nerf la sonde sur plusieurs cm. L'AL ainsi injecté en sous-paraneural apparaît comme une flaque hypoéchogène autour du nerf. Le fascia paraneural, initialement peu distinct du nerf (45), apparaît alors comme un feuillet hyperéchogène entourant l'AL hypoéchogène et le nerf. Cette image peut être retrouvée jusqu'à plusieurs cm du site d'injection sans modification du diamètre ou de la structure du nerf.

Karmakar et al., grâce à un échographe haute définition, ont décrit l'échogénicité et l'aspect du paranèvre, un fascia hyperéchogène, séparé de l'épinèvre et délimitant un compartiment sous-paraneural en sciatique poplitée (45). La technologie haute définition utilise une acquisition d'image intégrant l'ensemble des variations ultrasonores des structures. Sans avoir à modifier l'angle d'attaque de la sonde d'échographie, l'image visualisée correspond à une reconstruction des différentes images obtenues par anisotropie. Même si l'épinèvre et le feuillet paraneural sont anatomiquement distincts, ils ne sont pas individualisables avec les techniques ultrasonographiques disponibles en pratique courante. En revanche, l'injection d'AL dans l'espace sous-paraneural, en séparant le paranèvre du nerf, permet de distinguer ces structures. Des études sur le nerf sciatique en poplitée (46,37) et sur le plexus brachial (47) ont été publiées récemment. L'échographie en 2 dimensions (2D) permet de visualiser en petit

axe la présence d'AL non seulement autour du nerf au site d'injection mais aussi à distance. En grand axe, lorsqu'il est possible de visualiser le nerf sur sa longueur, la diffusion est visible sur plusieurs centimètres autour du nerf, de façon laminaire (48).

La reconstruction volumique en 3 dimensions (3D) des acquisitions échographiques en 2D peut être utilisée pour apprécier la diffusion de l'AL par rapport au nerf en ALR. La faisabilité de l'acquisition en 3D des images échographiques du plexus brachial en axillaire a déjà été démontrée en pratique clinique (49). Comme cela existe en sciatique poplitée (50), il est possible d'obtenir des reconstructions volumiques en boîtes multi-orthogonales mettant en évidence la flaque d'AL. L'acquisition échographique en 3D complète la vision en 2D obtenue par la translation de la sonde de haut en bas le long des nerfs. Cela permet d'objectiver la propagation longitudinale sous-paraneurale de l'AL, d'apprécier la diffusion dans les tissus ainsi que la répartition du volume d'AL (figure n° 13) (46). Ces reconstructions sont obtenues en per procédure, par un enregistrement des coupes échographiques 2D de la translation de la sonde sur plusieurs centimètres. Le logiciel de l'échographe Logic P6 (GE Healthcare, General Electric Company) permet d'obtenir des boîtes multi-orthogonales au format DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) pouvant être sauvegardées et réutilisées en post hoc.

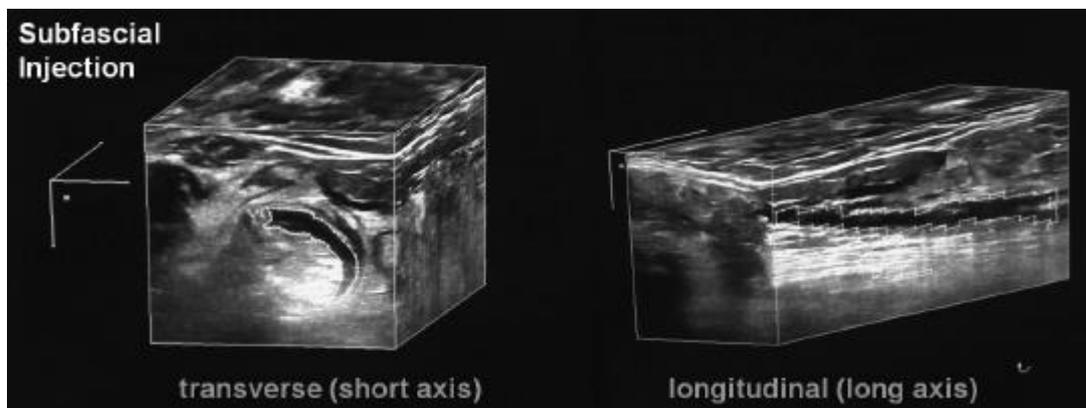


Figure n° 13 : Vues multi-orthogonales en 3 dimensions de la diffusion sous-paraneurale de l'AL par rapport au nerf sciatique au niveau poplité (nerf sciatique hyperéchogène : aspect en nid d'abeille en petit axe, feuilleté en grand axe ; AL anéchogène) (46).

Cette nouvelle technique d'injection de l'AL en sous-paraneurale a été décrite pour le bloc sciatique en poplité. Les études rapportent un taux de succès élevé (de 84 à 100 % de bloc sensitif complet à 30 min) (10,51) et un délai d'installation diminué de plus de 50 % comparé à la technique péri-neurale. De plus, le temps total d'anesthésie est également diminué de 25 à

40 %. Certes 11,5 % d'injections intraneurales ont été rapportées dans l'étude de Choquet et al. (51) et 16 % de paresthésies transitoires rapportées chez Tran et al. (10), mais aucun déficit neurologique au décours n'a été noté. Aucune effraction vasculaire n'a été constatée (48).

2 - Hypothèse et objectif

À notre connaissance, il n'existe aucune étude sur la stratégie d'injection d'AL en sous-paraneural dans le BAx pour les quatre nerfs du plexus brachial. Par conséquent, dans cette étude prospective randomisée, nous avons comparé l'injection périneurale conventionnelle à la technique sous-paraneurale. Notre hypothèse était que l'injection sous-paraneurale dans le BAx permettrait l'obtention d'un temps total lié à l'anesthésie plus court, grâce à une diminution du délai d'installation de bloc, avec un taux de réussite équivalent à l'injection périneurale conventionnelle. Par ailleurs, nous avons supposé qu'aucune différence ne serait mise en évidence en termes de complications et de temps de réalisation du BAx entre les 2 groupes. Pour objectiver cette diffusion longitudinale sous-paraneurale, nous avons utilisé une technique d'acquisition échographique en 3D.

II – MATÉRIELS ET MÉTHODES

1 - Approbation du Comité de Protection des Personnes

Après l'obtention de l'approbation du comité de protection des personnes n° 2013/62, l'enregistrement n° 2013-A00181-44 (Université de Bordeaux, Bordeaux, France) et le recueil de leur consentement lors de la consultation d'anesthésie, tous les patients consécutifs du CFXM ayant une chirurgie du poignet ou de la main ont été prospectivement inclus.

2 - Critères d'inclusion et d'exclusion.

Nos critères d'inclusion étaient un âge supérieur à 18 ans, un score ASA (American Society of Anesthesiologists) I à III, une durée prévisible de chirurgie < 120 min. Les critères d'exclusion étaient l'impossibilité d'obtenir le consentement éclairé, la grossesse, un trouble de l'hémostase, une neuropathie préexistante, l'allergie à l'AL ou une défaillance d'organe grave.

3 - Matériels

Lors de la visite préanesthésique, l'accord du patient à la participation au protocole étudié était de nouveau recherché. Le déroulement de la procédure est expliqué et aucune prémédication n'est prescrite avant l'arrivée au bloc opératoire.

Dans la salle de pré-induction, tous les patients ont été monitorés de façon standard par un oxymètre de pouls, une prise de pression artérielle non invasive intermittente et un électrocardioscope continu. Après la mise en place d'un cathéter veineux périphérique de 20 Gauge, une solution de cristalloïdes était perfusée en intraveineux. Tous les patients bénéficiaient d'une oxygénothérapie à 2 à 3 L/min.

Tous les BAx ont été effectués 40 min avant la programmation de l'acte chirurgical. 5 ml de mépivacaïne 10 mg/ml étaient injectés pour chacun des 4 nerfs avec un maximum autorisé de 20 ml d'AL. Le même échographe (Logic P6, GE Healthcare, General Electric Company), la même sonde linéaire à 18 MHz et une aiguille de 22 gauges de 100 mm de long (Stimuplex A, Bbraun , Melsungen, Allemagne) ont été utilisés pour tous les patients.

4 - Praticiens ayant participé à l'inclusion.

Le service dans lequel cette étude a été menée accueille la chirurgie programmée de la main ainsi que les urgences main. Les BAx étaient réalisés par des opérateurs expérimentés (1 praticien hospitalier et 4 internes) ayant réalisé avec succès plus de 60 blocs de chacune des 2 techniques d'injection, péri-neurale et sous paraneurale (52).

5 - Mise en condition et méthode.

Les patients étaient placés en décubitus dorsal avec le bras en abduction à 90° par rapport au torse, l'avant-bras en extension sur un appui bras.

La sonde était positionnée en regard de l'intersection des sillons des muscles biceps brachial et grand pectoral, perpendiculairement au bord latéral du sillon du muscle grand pectoral (figure n° 8).

Temps d'échorepérage

Tout d'abord, l'artère axillaire anéchogène et pulsatile était repérée. Puis, autour de l'artère, les nerfs étaient également identifiés en utilisant un mouvement de translation de la sonde

d'échographie de haut en bas le long du bras. Cette technique dite de « l'ascenseur » permettait de suivre les structures vasculo-nerveuses sur leur trajet de la fosse axillaire jusqu'au coude et d'identifier précisément les nerfs U, M et MC. Enfin, le nerf R était recherché en amont de la première branche de l'artère brachiale. Comme vu précédemment, le nerf R suit l'artère profonde du bras pour plonger dans le sillon radial, à la face postérieure de l'humérus et n'est plus visible sur une coupe échographique trop distale.

Temps de ponction

L'aiguille était guidée selon la technique dite « dans le plan » décrite précédemment. Une fois alignée dans le plan transversal, la position de l'aiguille était ajustée en verticale jusqu'à la cible pour obtenir une diffusion de l'AL de façon circonférentielle autour du nerf en péryneural ou en sous-paraneural. Ainsi, les trajets de l'aiguille étaient simples et rapides. L'AL était injecté successivement autour des nerfs R, U, M et MC.

Dans le groupe péryneural (PN), le praticien cherchait à injecter l'AL autour du nerf en restant à distance de celui-ci (17). L'aiguille était repositionnée autant de fois que nécessaire autour du nerf afin d'obtenir une diffusion en cocarde. Cette diffusion était visualisée sur la coupe échographique d'injection, mais lorsque la sonde était translatée en distalité, la diffusion n'était pas retrouvée.

Dans le groupe sous-paraneural (PA), la technique d'injection était similaire à celle décrite par Andersen et al. (37) ou par Choquet et al. (51) concernant le nerf sciatique en région poplitée. La bonne position de l'aiguille était déterminée par l'obtention d'une diffusion circonférentielle autour du nerf, non seulement sur la coupe où était réalisée l'injection mais aussi en distalité. Le biseau de l'aiguille était placé sous la gaine paraneurale du nerf. Pour ce faire, l'aiguille abordait tangentiellement le nerf. Dès l'injection du premier millilitre d'AL, l'injection était stoppée et la diffusion recherchée. La sonde était alors translatée en distalité sur le trajet du nerf, la bonne position de l'aiguille était objectivée par la visualisation d'une cocarde hypoéchogène autour du nerf, non seulement au site d'injection mais aussi en distalité, lors de la translation de la coupe échographique. L'aiguille était repositionnée si aucune propagation d'AL le long du nerf n'était observée (cela correspondait donc à une injection extraneurale) ou si une image de gonflement du nerf apparaissait (il s'agissait alors d'une injection intraneurale).

En l'absence de reflux vasculaire au test d'aspiration, de paresthésie mécanique ressentie par le patient ou de réponse motrice visualisée par l'opérateur, de résistance à l'injection, de douleur ou de gonflement visible du nerf au 1^{er} ml injecté, l'injection de mépivacaïne 10 mg/ml était poursuivie. Le volume total injecté par nerf était de 5ml.

Un neurostimulateur (Stimuplex HNS 12, BBraun) était connecté à l'aiguille « en sentinelle », réglé avec une intensité de 0,3 mA, une durée de 0,1 milliseconde et une fréquence de 1 Hz. Une vidéo de la procédure du BAx échoguidé était enregistrée pour analyse post hoc. Dès le bloc terminé, une reconstruction en 3D était réalisée pour objectiver la diffusion de l'AL sur 5 cm.

Un second praticien, ignorant le groupe dans lequel le patient était randomisé, collectait la vidéo de la procédure et les données du bloc : durée de la procédure (durée d'acquisition des images, durée de performance du bloc), nombre de passages d'aiguille (mobilisation de l'aiguille > 1cm rapportée par l'opérateur), temps d'installation des blocs sensitif et moteur pour les 4 nerfs, paresthésie ou douleurs ressenties par le patient durant la procédure.

6 - Randomisation et aveugle

Les patients ont été assignés de façon aléatoire en PN ou PA en utilisant des séquences de randomisation générées par des tables statistiques. Ni le patient, ni le chirurgien, ni le praticien observateur en charge de l'enregistrement des variables durant la procédure n'avaient connaissance de la technique du bloc axillaire assignée au patient.

7 - Analyse de l'installation du bloc sensitivo-moteur.

Temps d'installation

Le délai d'action du bloc était mesuré entre le retrait de l'aiguille de la peau du patient (T0) et l'obtention du bloc anesthésique. L'installation du bloc était évaluée depuis T0 et jusqu'à 30 min après (T30) toutes les 5 min. La frise chronologique du protocole d'étude est reprise sur la figure n° 14.

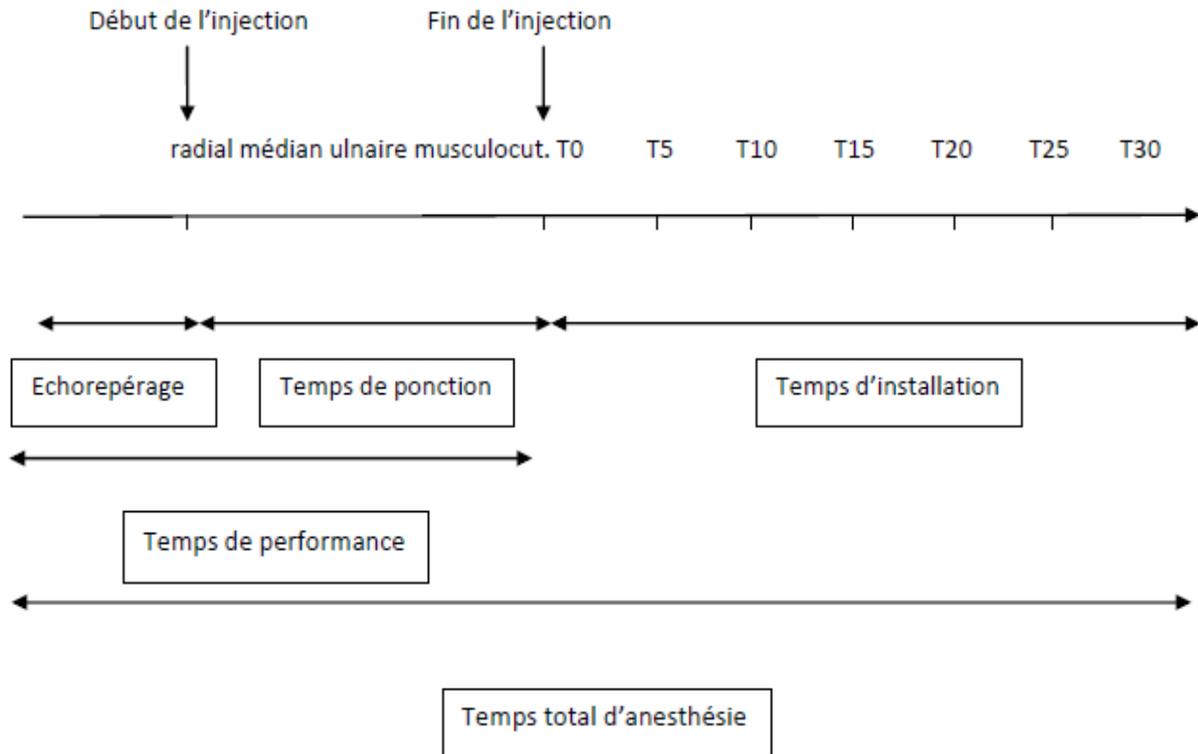


Figure n° 14 : Protocole d'étude avec les différents temps et délais mesurés.

Le bloc sensitif était mesuré selon une échelle de trois points en utilisant un prick test à l'aiguille au centre du dermatome concernant chacun des quatre nerfs, ainsi qu'en controlatéral avec la même intensité. Le prick test était effectué au niveau de la tabatière anatomique pour le nerf R, sur la pulpe de P3 du 2^{ème} doigt pour le nerf M, sur la pulpe de P3 du 5^{ème} doigt pour le nerf U et sur la face interne de l'avant-bras pour le nerf MC. Un score différenciait les 3 niveaux d'installation du bloc sensitif : 0 = même sensation que controlatéral (pas de bloc), 1 = analgésie : sensation du toucher mais aucune douleur (bloc partiel), 2 = anesthésie : pas de sensation (bloc sensitif complet).

Le bloc moteur a été évalué pour le nerf MC par flexion active du coude, pour le nerf R par l'extension active du coude et du poignet, pour le nerf M par la pince entre le pouce et le 2^{ème} doigt, et celle entre le pouce et le 5^{ème} doigt pour le nerf U. Le bloc moteur était coté de la même façon sur une échelle de 0 à 2 points : 0 = force normale (pas de bloc), 1 = parésie : réduction de la force comparée au bras controlatéral (bloc partiel), 2 = paralysie : pas de mouvement (bloc moteur complet), et ce pour chaque nerf.

En tout, le score composite maximal était de 16 points, 2 points sensitifs et 2 points moteurs pour chacun des 4 nerfs. A l'instar des études publiées (38) et pour pouvoir comparer nos

résultats, nous avons considéré l'anesthésie suffisante pour la chirurgie à partir d'un score composite minimal de 14 points, à condition que le score de bloc sensitif soit égal ou supérieur à 7 (sur 8 points). Le temps d'installation du bloc était défini comme le temps nécessaire pour obtenir ces 14 points. Par conséquent, la durée totale du temps d'anesthésie était égale à la somme du temps de performance et du temps d'installation du bloc.

Si au bout de 30 min de temps d'installation, le score composite était inférieur à 14 points, le bloc d'ALR était considéré comme un échec et le temps d'installation du bloc n'était pas pris en compte dans l'analyse statistique.

Si la zone chirurgicale était anesthésiée de sorte que le geste chirurgical fut possible, même avec un score inférieur à 14, plus aucune intervention n'était nécessaire et le patient pouvait rentrer en salle d'opération, son ALR était considérée comme un succès chirurgical. A l'inverse, si la zone concernée par la chirurgie n'était pas anesthésiée, même si le bloc était supérieur à 14/16, l'ALR était considérée comme un échec chirurgical. L'anesthésiste responsable réalisait alors selon son choix une analgésie intraveineuse, une anesthésie générale, un bloc d'ALR de secours au niveau du coude ou une infiltration in situ d'AL per opératoire.

En cas d'anxiété du patient et afin d'améliorer le parcours de soin des patients, des techniques d'hypnose conversationnelle étaient utilisées. La musique choisie par chaque patient dans le sas d'ALR était systématiquement proposée. Une sédation par perfusion de propofol à objectif de concentration (1-2 ng/ml) en gardant le contact verbal pouvait être utilisée. Enfin, si une anesthésie générale avec mise en place d'un dispositif supra-laryngé était nécessaire, le bloc était alors considéré comme un échec.

8 - Prise en charge postopératoire et suivi des patients

L'analgésie postopératoire correspondait à la prescription de paracétamol 1 g per os toutes les 6 h et 1 mg/kg de kétoprofène ou 1 mg/kg de tramadol en fonction de l'échelle visuelle analogique (EVA) relative à la douleur. Le lendemain, un observateur, ignorant la technique utilisée, recontactait chaque patient pour recueillir tout type de complication (paresthésies persistantes, hématome au point de ponction), le taux de satisfaction et la durée du bloc sensitivo-moteur correspondant au temps entre la fin de la procédure d'ALR (T0) et la récupération d'une sensibilité normale (sensibilité équivalente en controlatérale et/ou apparition de douleurs au site opératoire).

9 - Recueil de données et statistiques.

Un taux de succès similaire était attendu dans les 2 groupes. Le critère de jugement principal était la durée totale d'anesthésie (somme des temps de performance et d'installation de l'ALR). Les calculs de puissance sont basés sur les dérivations standards (DS) rapportées dans l'étude de Bernucci et al. pour la technique conventionnelle péri-neurale dans le bloc axillaire (38).

Pour une durée totale d'anesthésie de 29,0 (\pm 7,2) minutes, nous avons considéré comme cliniquement significatif une différence de 25 % du critère de jugement principal. Un total de 40 patients par groupe est nécessaire pour détecter cette différence de temps total d'anesthésie, en acceptant un risque α à 0,05 et un risque β de 20 %.

Les variables qualitatives ont été exprimées en termes d'effectifs et de pourcentages, les variables quantitatives ont été exprimées en termes de moyenne et écart type (ET) à la moyenne. Les comparaisons bivariées de variables qualitatives ont été réalisées à l'aide du test du Chi² ou du test exact de Fisher, selon les conditions d'applications. Les comparaisons bivariées de variables quantitatives ont été réalisées à l'aide du test t de Student ou de Mann et Whitney, selon les conditions d'applications (logiciel SAS v9.1).

Pour l'hypothèse testée, $p < 0,05$ a été considérée comme statistiquement significatif.

III – RÉSULTATS

Quatre-vingts patients ont été randomisés et inclus en deux groupes de quarante. Il n'y avait pas de différence entre les patients des groupes PA et PN en termes de caractéristiques anthropométriques (tableau n° 1).

Les 320 nerfs de tous les blocs axillaires ont été identifiés et 20 ml de mépivacaïne 1 % ont été injectés pour chaque patient. Une diffusion circonférentielle d'AL sur 5 cm le long de chaque nerf a été observée pour les 160 nerfs du groupe paraneural et aucune dans le groupe péri-neural.

	PA(n=40)	PN(n=40)
Age, an	33 (16)	40 (17)
Homme/Femme, n	27/13	29/11
Score ASA I/II	32/8	29/11
IMC, kg.m ⁻²	25,1 (4,6)	24,1 (4,2)

Les résultats sont fournis en moyenne (déviatoin standard)

PA : groupe para-neural, PN : groupe péri-neural,

ASA : American Society of Anesthesiologists,

IMC : index de masse corporelle

Tableau n° 1 : Données anthropométriques des patients inclus.

La relecture des coupes échographiques enregistrées et des reconstructions tridimensionnelles (figures n° 15 et 16) n'a pas montré d'injection intraneurale. Aucune injection sous-paraneurale n'a été identifiée dans le groupe péri-neural ; à l'inverse dans le groupe sous-paraneural, l'AL a toujours été repéré le long du nerf sur 5cm.

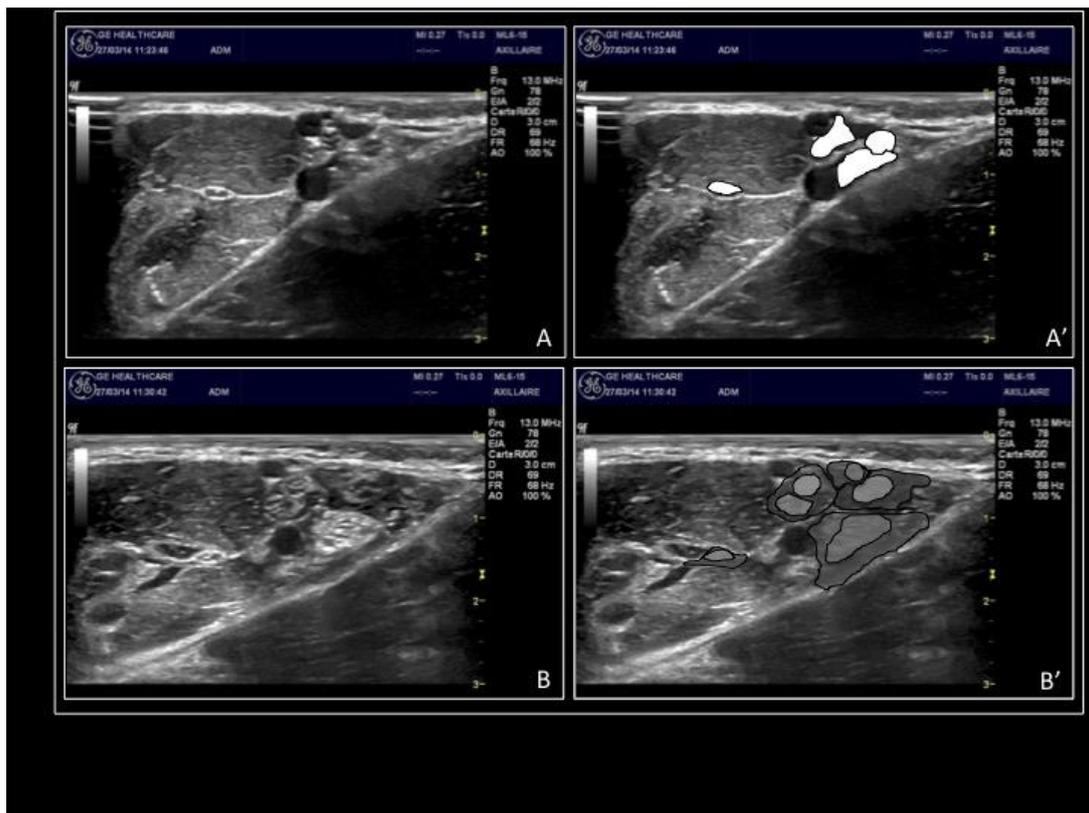


Figure n° 15 : Images échographiques de la fosse axillaire avant (A et A') et après (B et B') injection en sous-paraneural (nerfs et flaqes d'anesthésique local en surimpression sur les coupes A' et B').

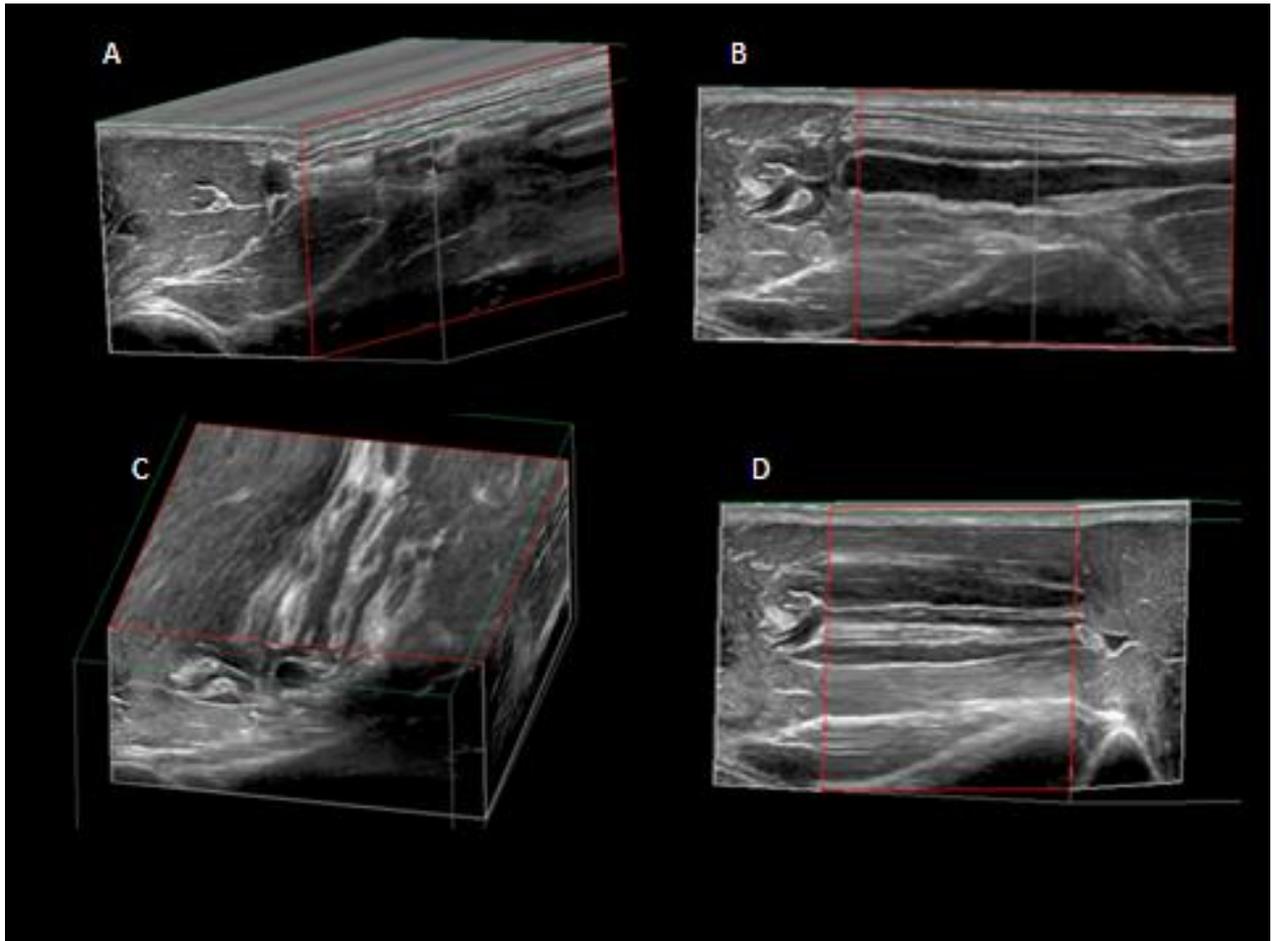


Figure n° 16 : Reconstitutions tridimensionnelles d'images échographiques de la fosse axillaire avant (A) et après (B, C, D) injection d'anesthésique local en sous-paraneural.

Coupes longitudinales passant par les nerfs : médian avant (A) et après (B) injection vue médiale ; médian et ulnaire (C) vue antérieure ; musculo-cutané (D) vue médiale. Notez la diffusion de l'anesthésique local sur la longueur des nerfs.

Le temps d'installation et le temps total d'anesthésie étaient respectivement plus courts de 38 % et 28 % dans le groupe PA par rapport au groupe PN (respectivement $12,1 \pm 3,0$ min vs $19,4 \pm 5,0$ min, $p < 0,001$ et $17,5 \pm 4,0$ min vs $24,4 \pm 5,0$ min, $p < 0,001$). Les temps de performances n'étaient pas statistiquement différents entre les groupes PA et PN avec respectivement 5,3 min (0,4 min + 4,9 min) contre 5,2 min (0,5 min + 4,7 min) (figure n° 14).

La figure n° 17 montre le pourcentage de patients des groupes PA et PN ayant un score sensitif complet en fonction du temps, score que nous estimons cliniquement pertinent. Dès la 10^{ème} min, ce score est significativement plus élevé dans le groupe PA (35 % vs 2,5 %, $p < 0,005$) et atteint les 100 % dès la 25^{ème} min (contre 67,5 % dans le groupe PN, $p < 0,005$).

Temps Total d'Anesthésie selon les scores 14/16 et 8/8 sensitif complet

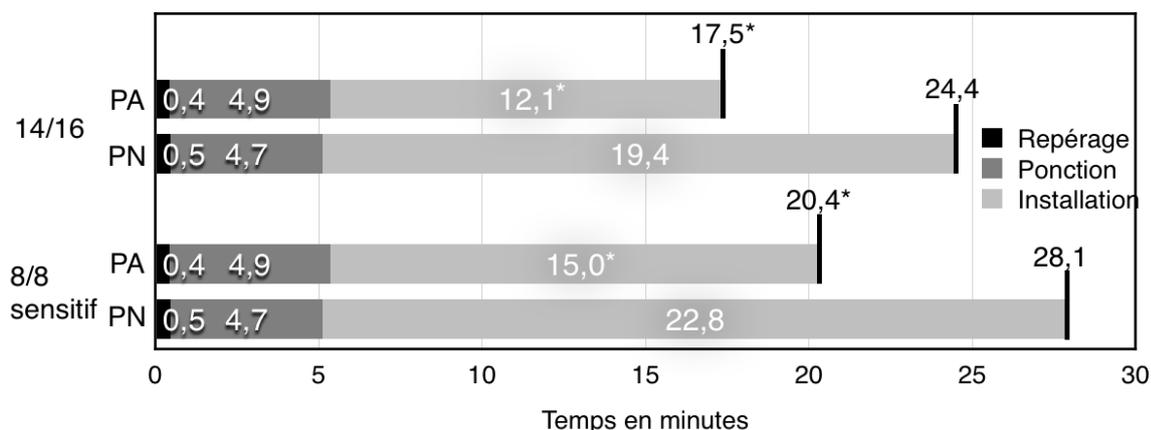


Figure n° 17 : Temps total d'anesthésie répartis en temps de repérage + temps de ponction + temps d'installation du bloc.

Pour le groupe paraneural (PA), moyennes obtenues sur 40 patients ; pour le groupe périneural (PN), moyennes sur 32 patients pour le score $\geq 14/16$ (8 échecs) et sur 27 patients pour bloc sensitif à 8/8 (13 échecs)

Concernant les délais d'installation, dans le groupe PA, 100 % des nerfs ont un bloc sensitif complet à la 25^{ème} min. La sensibilité du nerf MC est bloquée chez tous les patients dès la 15^{ème} min, celle du nerf U dès la 20^{ème} min et celles des nerfs R et M à la 25^{ème} min chez tous les patients du groupe PA.

Dans le groupe PN, le pourcentage de patients ayant un bloc sensitif complet en fonction des nerfs à la 30^{ème} min varie de 72,5 % pour le nerf M à 95 % pour le nerf MC.

Les graphiques de la figure n° 18 représentent la rapidité d'installation du bloc sensitif complet, c'est-à-dire le temps d'installation nécessaire pour obtenir un score sensitif à 2/2, en fonction des nerfs du plexus brachial en axillaire.

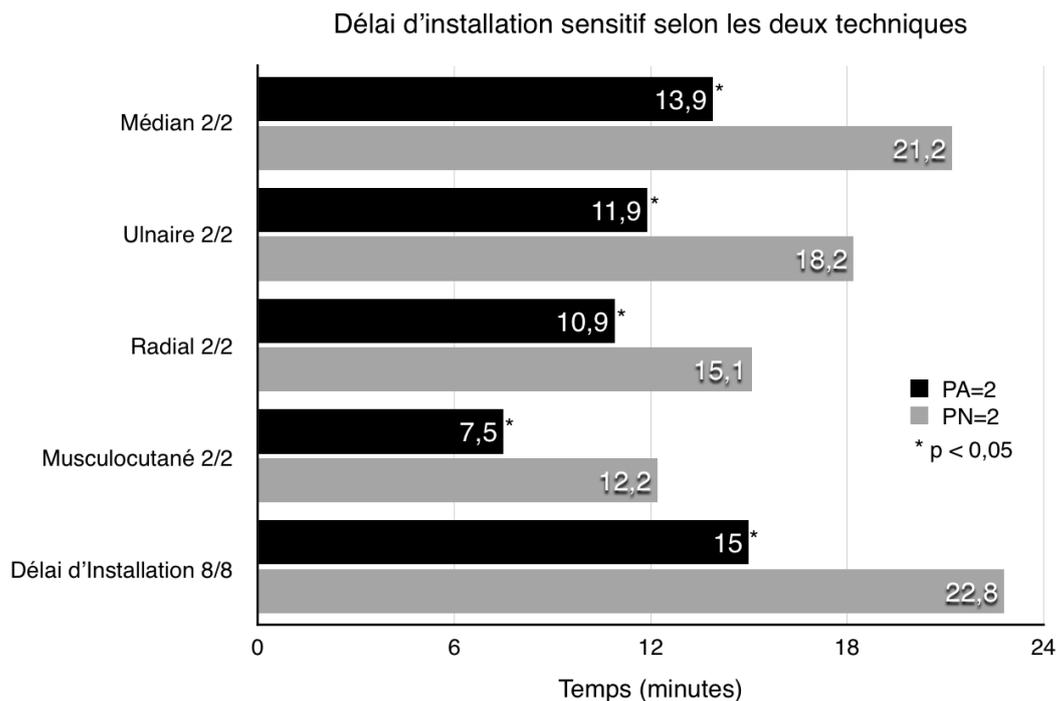


Figure n° 18 : Délais d'installation moyens du bloc sensitif complet en fonction des nerfs et des groupes.

Les délais d'installation sont calculés en moyenne. Pour le groupe sous-paraneural cette moyenne a été réalisée selon les résultats des 40 patients. En revanche, dans le groupe périneural, pour le délai d'installation du bloc sensitif complet, elle a été calculée sur 27 patients, pour le médian sur 29 patients, pour l'ulnaire sur 36 patients, pour le radial sur 35 patients, pour le musculo-cutané sur 38 patients

Comme nous le supposions, il n'y pas eu de différence significative dans le taux de succès de l'anesthésie chirurgicale à 30 minutes entre les deux groupes (100 % en sous-paraneural vs 90 % pour le groupe périneural, $p = 0,115$). Mais les scores composites de succès $\geq 14/16$, étaient statistiquement différents entre les groupes PA et PN (100 % vs 80 %, $p = 0,005$). De plus, le bloc sensitif complet, que nous considérons comme cliniquement pertinent, était lui aussi statistiquement différent de la 10^{ème} jusqu'à la 30^{ème} minute (figure n° 19).

A noter que dans le groupe PA le score sensitif complet chez 100 % des patients était atteint dès la 25^{ème} min (contre 60 % des patients dans le groupe PN, $p < 0,005$).

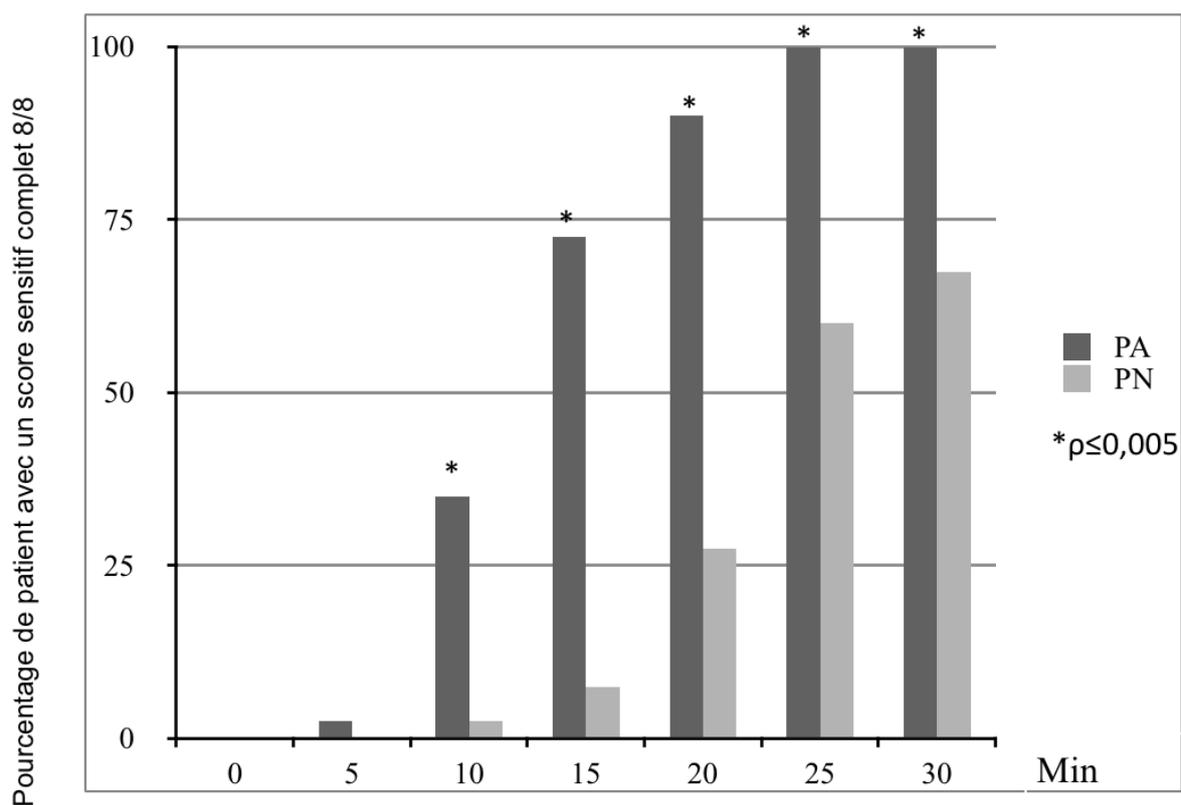


Figure n° 19 : Pourcentage de patients avec un score sensitif complet en fonction du temps.

Nous avons enregistré un même taux (50 %) de paresthésies transitoires lors des temps de procédure dans les deux groupes, dans le territoire du nerf médian dans 90 % des cas. Aucun patient n'a rapporté de complication sensitive ou motrice à 24 heures.

Aucune différence significative dans la durée d'action du bloc dans le groupe PA par rapport au groupe PN (respectivement 200 ± 44 min vs 199 ± 45 min) n'a été retrouvée.

Aucune différence significative n'a été notée entre les groupes en rapport avec les redirections d'aiguilles mais une différence significative était notée concernant les remobilisations de la pointe de l'aiguille autour des nerfs. Entre les groupe PA et PN, aucune différence n'était notée concernant l'échelle de douleur per procédure (EVA/10 : $2,2 \pm 2,2$ vs $2,2 \pm 1,9$ respectivement) ou la satisfaction des patients aussi bien pendant (EVA/10 : $8,6 \pm 1,4$ vs $8,2 \pm 1,5$ respectivement), après le bloc (EVA/10 : $9,2 \pm 0,9$ vs $8,6 \pm 1,2$ respectivement) qu'à 24 heures (EVA/10 : $9,2 \pm 0,8$ vs $8,9 \pm 1,0$ respectivement). Une ponction veineuse sans retentissement clinique est notée dans le groupe péri-neural. Aucun gonflement nerveux n'est enregistré (tableau n° 2).

	Sous Paraneural (n=40)	Péri neural (n=40)	p
Score composite minimal de 14 points			
- à 10min, %	23 (57.5)	2 (5)	<0,001
- à 15min, %	38 (95)	10 (25)	<0,001
- à 20min, %	39 (97.5)	24 (60)	<0,001
- à 30min, %	40 (100)	32 (80)	0.005
Bloc sensitif complet (8/8 points)			
- à 10min, %	14(35)	1(2,5)	<0,001
- à 15min, %	29(72,5)	3(7,5)	<0,001
- à 20min, %	36(90)	11(27,5)	<0,001
- à 30min, %	40(100)	27(67,5)	<0,001
Bloc chirurgical, n (%)	40 (100)	36 (90)	NS
Facilité de réalisation	8.4 (1.5)	8.4 (1.2)	NS
Interne / Praticien hospitalier	23 vs 17	23 vs 17	NS
Nb. de redirections de l'aiguille	2.6 (0.7)	2.8 (0.6)	NS
Nb. de mobilisations de l'aiguille	6.7 (1.8)	9.2 (2.3)	<0,001
- autour du nerf Médian, n	1.9 (0.9)	3.0 (0.8)	<0,001
- autour du nerf Ulnar, n	1.7 (0.6)	2.3 (0.9)	<0,001
- autour du nerf Radial, n	1.6 (1.0)	2.0 (0.9)	0,037
- autour du nerf Musculo-cutané, n	1.6 (0.7)	1.9 (0.7)	0.044
Ponction vasculaire, n	0 (0)	1 (2.5)	NS
Gonflement de nerf, n (%)	0 (0)	0 (0)	NS
Paresthesies, n (%)	20 (50)	21 (52.5)	NS
Les Variables continues sont présentées sous forme de moyennes(derivations standard DS); les variables catégorielles sont présentées sous forme de nombre (pourcentage). Seuil de significativité p < 0,05			

Tableau n° 2 : Performances et réalisation du bloc axillaire en fonction des groupes.

IV – DISCUSSION

Dans cette étude randomisée, nous avons trouvé que, comparée à l'injection péri-neurale, l'injection sous-paraneurale autour des 4 nerfs du plexus brachial dans la fosse axillaire permettait de diminuer le temps total d'anesthésie et d'améliorer le taux de succès anesthésique du bloc. Néanmoins, il n'y avait pas de différence concernant la durée du bloc anesthésique.

1 - Efficacité et prédictibilité de l'injection sous-paraneurale

Notre étude comparait une injection périneurale avec une injection sous-paraneurale au niveau axillaire. Le site d'injection en sous-paraneural a été défini comme un facteur important, permettant de réduire le délai d'installation du bloc et le temps total d'anesthésie mais aussi d'augmenter le taux de succès (36). Une seule étude sur le plexus brachial a été publiée (47) mais l'injection était décrite autour des troncs nerveux en supra-claviculaire, pas autour des nerfs en axillaires. De plus, l'injection était réalisée non pas au niveau d'une gaine qui envelopperait chaque tronc mais dans le tissu conjonctif les séparant. L'injection sous-paraneurale autour des nerfs a été étudiée depuis 2010 (53), exclusivement au niveau du nerf sciatique, avant ou après sa bifurcation (10,37,45,48,50,51). Nos résultats au niveau du plexus brachial sont équivalents à ceux retrouvés pour le nerf sciatique en poplité : réduction de 30 % du délai d'action et du temps total d'anesthésie et augmentation du taux de succès du bloc de façon significative (51).

Parmi toutes ces études (10,37,45,48,50,51,53), seulement 2 évaluent comme nous la diffusion de l'AL en coupe longitudinale, Morau et al. en 2 dimensions (53) et Karmakar et al. en 3 dimensions (50).

Néanmoins, si la diffusion de l'AL le long du nerf définit le caractère sous-paraneural de l'injection, la longueur de contact nerf-AL semble être une notion primordiale pour prédire et assurer l'efficacité du bloc. Morau et al. avaient rapporté l'importance clinique d'une diffusion non seulement circonférentielle mais aussi longitudinale sur 6 cm de l'AL autour du nerf pour assurer l'efficacité du bloc (différence significative du bloc complet à 30 min, 70 % vs 52 % lorsque la diffusion est inférieure à 6 cm). Au niveau axillaire, le diamètre des nerfs est inférieur à celui du nerf sciatique en poplité et la proportion de tissus conjonctifs est moindre (28). Or, les axones de faible diamètre nécessitent une dépolarisation plus forte pour atteindre le potentiel d'action, ce qui les rend plus sensibles au blocage par l'AL, nécessitant ainsi une longueur de contact moindre (54). C'est pourquoi nous avons choisi une longueur de contact non pas de 6 cm comme pour le sciatique mais de 5cm pour chacun des 4 nerfs du plexus brachial.

Il est probable, en effet, qu'il existe une longueur de contact qui varie selon les nerfs, leur taille ou encore leur structure interne mais qui permette de bloquer assurément la conduction nerveuse. In vitro, Raymond et al. avaient très bien expliqué l'intérêt de bloquer sur plusieurs

centimètres la conduction nerveuse. D'après ces travaux, au niveau du nerf sciatique de la Grenouille, le seuil de longueur de contact nerf-AL est à 4 cm (soit plus de 20 nœuds de Ranvier) pour multiplier par 5 le temps de latence de conduction et diminuer de 90 % l'amplitude du potentiel d'action. En revanche, une longueur de contact inférieure à 2 cm expose à une plus grande variabilité de l'efficacité du bloc puisqu'on n'observe alors plus que 50 % de diminution de l'amplitude du potentiel d'action (54). Comme dans notre étude, Choquet et al. notent un taux de succès du bloc sensitif complet de 100 % à 30 min dans le groupe sous-paraneural (51). La localisation de l'AL en sous-paraneural sur une longueur de 5 ou 6 cm selon les nerfs semble être prédictible du succès du bloc.

Nous avons également noté une réduction du temps d'installation du bloc en fonction du nerf. Ainsi le nerf MC dans le groupe PA, pourtant bloqué en dernier dans la procédure, obtient un score sensitif complet à 2/2 dans 100 % des cas en 15 minutes, alors que le nerf R bloqué en premier obtient ce même score en 25 minutes. La différence entre ces 2 nerfs est la taille et la structure interne : le nerf MC est un petit nerf (3 mm de diamètre) et contient moins de tissu conjonctif interfasciculaire par rapport au nerf R (8 mm de diamètre) (27,28).

2 - Technique d'injection péri-neurale dans la littérature

Les résultats concernant notre groupe péri-neural soulèvent des questions. Le temps d'installation du bloc anesthésique pour le groupe péri-neural dans notre étude (19,4 min [DS 5,0min]) est comparable à celui retrouvé par Tran et al. (18,9min [DS 5,0min]) (39), mais beaucoup plus long comparé à celui de Bernucci et al. (13,8min [DS 7,0min]) (38). Pour expliquer cette différence, il est souhaitable de regarder le temps total d'anesthésie comprenant le temps de réalisation du bloc auquel s'ajoute le délai d'action. Dans l'étude de Bernucci et al., le temps de réalisation est plus long de 10 min par rapport à notre étude (15,7 min vs 5,1 min). Ainsi, on peut penser que l'installation des premiers nerfs injectés a débuté bien avant la fin de la réalisation du BAx (i.e. T0). Le temps de réalisation et le délai d'action se superposent alors dans l'étude de Bernucci et al. au lieu de s'ajouter, ce qui biaise la comparaison. Finalement, le temps total lié à l'anesthésie pour le groupe d'injection péri-neurale dans notre étude (24,4min [DS 5,0 min]) est identique, voire plus rapide, que dans les études de Bernucci et al. (29,0min [DS 7,2 min]) ou de Tran et al. (31,4 min [DS 5,7 min]).

Le taux de succès d'anesthésie chirurgicale pour le groupe pérynéural dans notre étude (90 %) est similaire aux données déjà publiées (87,9 % à 97,5 %) (38-40). Le taux de succès anesthésique pour obtenir un bloc sensitif complet à 30 min est de 72,5 % dans notre étude et de 75 % pour Bernucci et al. (38). Il est probable que, dans les études avec des opérateurs experts utilisant un faible volume d'AL en axillaire (42,44), le taux de succès de 100 % soit dû à des injections sous-paranéurales et non pérynéurales.

3 - Durée d'action de l'AL en pérynéural et en sous-paranéural

Dans notre essai, la durée d'action du bloc, de 200 minutes (DS 45 min), est superposable dans les 2 groupes. Concernant la technique d'injection pérynéurale, cette durée est semblable aux données précédemment publiées, utilisant la mépivacaïne 10 mg/ml, même si le volume dans notre étude est réduit de 50 % (55). Aucune donnée n'est disponible quant à l'injection en sous-paranéural au niveau de la fosse axillaire. En revanche, au niveau du creux poplité, région également très vascularisée avec un réseau lymphatique important, Choquet et al. (51) retrouvent une différence significative de durée d'action du bloc entre les 2 groupes : + 34 % avec la technique d'injection sous-paranéurale par rapport à l'injection en pérynéural sur le nerf tibial. Nous n'avons pas retrouvé cette différence. Cela est d'autant plus étonnant que l'analyse 3D à 20 min révèle la persistance de l'AL au contact du nerf sur 5 cm dans le groupe PA, alors qu'il est souvent difficile de retrouver la cocarde au site d'injection dans le groupe PN. L'environnement lymphatique dans la zone axillaire est plus proche des nerfs et plus abondant que dans le creux poplité. Avec un contingent plus important de ganglions lymphatiques en axillaire par rapport au creux poplité, une chasse plus rapide de l'AL par le flux lymphatique pourrait expliquer que les durées des blocs paranéuraux et pérynéuraux soient identiques dans notre étude (56). Pourtant la gaine paranéurale devrait, a priori, agir mécaniquement comme un réservoir et éviter la chasse lymphatique de l'AL.

4 - Lésions neurologiques : injections intranéurales, paresthésies

La technique d'injection sous-paranéurale peut parfois être grevée d'injection intranéurale. Contrairement à Choquet et al. qui en rapportent 8,5 % après analyse post hoc (51), nous n'avons pas décrit d'injections intranéurales, ni per procédure, ni en analyse post hoc sur les boîtes en 3D. L'analyse en 2D permet en grande partie de déceler une injection intranéurale dès l'injection de 0,5 ml et donc de stopper l'injection pour repositionner le biseau de l'aiguille (57). Néanmoins, il est parfois difficile, même pour les experts, de visualiser la

pointe de l'aiguille (24). Il est donc possible que l'injection soit réalisée dans un autre segment du nerf et qu'elle passe inaperçue. Nous pensons que l'analyse en 3D a posteriori pourrait permettre d'affirmer la localisation de l'AL. La seule limite est la taille de la boîte 3D, actuellement limitée à 6 cm. En effet, il est important de déceler rapidement des injections intraneurales, même si un gonflement nerveux n'aboutit pas systématiquement à une lésion neurale (21,51,53).

Dans notre étude, une forte incidence de paresthésie transitoire (50 %) a été enregistrée dans les 2 groupes. Contrairement à l'étude de Choquet et al. (51) où aucune paresthésie n'avait été décrite, seulement 2 patients par groupe ont reçu une prémédication et aucun de nos patients n'était sédaté. En revanche, nous apportons une attention particulière dans la description des paresthésies par le patient en per et post procédure. De plus, la neurostimulation était utilisée en sentinelle. Il a été démontré que le simple contact entre l'aiguille et le nerf, sans effraction de l'épinèvre extra-fasciculaire pouvait se traduire par des paresthésies mécaniques (16), il s'agit de paresthésies qui nous alertent sur la promiscuité entre l'aiguille et le nerf, et non de prodromes d'une lésion nerveuse. D'ailleurs, aucun gonflement de nerf n'est rapporté en per procédure, aucune douleur n'est décrite en per opératoire et aucun déficit neurologique n'est noté à 24 h de la procédure.

5 - Limites et perspectives

Nous n'avons pas calculé le volume d'AL distribué auprès du nerf car nos logiciels de calculs sur l'échographe P6 ne nous permettaient pas de réaliser des coupes fines, ni des reconstructions volumiques de la diffusion de l'AL. Dans 3 cas l'injection sous-paraneurale autour de l'ulnaire permettait une diffusion sur 5 cm alors que le volume injecté était seulement de 3 ml. Il est probable que le volume d'AL puisse être encore réduit. L'imagerie 3D avec un logiciel de calcul adapté pourrait permettre de donner le volume optimal pour prédire le succès du bloc sous-paraneural. Nous avons néanmoins trouvé, qu'avec une diffusion longitudinale sur plusieurs cm, la prédictibilité de réussite du bloc était excellente. De prochaines études sont nécessaires pour déterminer le volume minimum efficace d'AL au niveau paraneural dans le bloc du plexus brachial en axillaire et la distance minimale de diffusion sous-paraneurale de l'AL assurant efficacité et fiabilité.

V – CONCLUSION

Dans notre étude, nous avons montré que l'injection en sous-paraneural était tout d'abord possible en axillaire, de plus, qu'elle permettait de diminuer le temps d'anesthésie à moins de 30 minutes tout en assurant une grande efficacité et surtout une prédictibilité de succès optimale sans complications. L'injection sous-paraneurale en axillaire pourrait s'intégrer dans l'échelle d'apprentissage du bloc axillaire comme LA technique à acquérir. Dans notre équipe, nous pensons que le temps total d'anesthésie (temps de réalisation + temps d'installation) ne doit pas dépasser 30 minutes, la technique d'ALR est donc adaptée selon les capacités du praticien à rapidement repérer les nerfs et à injecter avec précision l'AL. La technique standardisée périsvasculaire correspond au niveau 1, l'injection périneurale au niveau 2 et l'injection sous-paraneurale au niveau 3. En fonction du niveau du praticien en formation, de l'échogénicité du patient et du matériel disponible, toutes ces techniques peuvent être intéressantes.

Les reconstructions tridimensionnelles nous ont permis de visualiser l'AL le long des nerfs et de mesurer la distance de contact nerf-AL mais aussi d'affirmer l'absence d'injections intraneurales. Ces analyses, facilement obtenues une fois le bloc réalisé, pourraient permettre de vérifier l'intégrité du nerf sur l'ensemble de sa longueur en cas de doute sur l'origine d'un déficit neurologique post opératoire. L'utilisation d'une imagerie en 4 dimensions, 3D en temps réel, permettrait de mieux visualiser la diffusion de l'AL per procédure et ainsi d'éviter tout risque d'injection intraneurale.

BIBLIOGRAPHIE

1. Dr. Bertrand Boutillier, Pr Gérard Outrequin. Anatomie de la fosse axillaire [Internet]. Disponible sur: http://www.anatomie-humaine.com/Fosse-axillaire.html?id_document=141
2. Keith L. Moore and Arthur F. Dalley. Anatomy clinically oriented, Fourth Edition. De Boeck & Larcier. 1999.
3. Berthier F, Lepage D, Henry Y, Vuillier F, Christophe J-L, Boillot A, et al. Anatomical basis for ultrasound-guided regional anaesthesia at the junction of the axilla and the upper arm. *Surg Radiol Anat SRA*. mars 2010;32(3):299-304.
4. Delaunay L. via Feugeas JL. Chirurgie de la main et de l'avant bras, choix de la technique d'anesthésie et d'analgésie. CHU de Marseille.
5. Choquet O, Capdevila X. Ultrasound-Guided Nerve Blocks: The Real Position of the Needle Should Be Defined. *Anesth Analg*. mai 2012;114(5):929-30.
6. Reina MA., via SFAR - Neuropathies et blocs nerveux périphériques [Internet]. [cité 19 mai 2015]. Disponible sur: <http://www.sfar.org/article-actas/481/neuropathies-et-blocs-nerveux-peripheriques>
7. Pauchet V., Sourdat P, Labat G. L'anesthésie régionale, Doin ed. Paris. In 1927.
8. Millesi H, Zöch G, Rath T. The gliding apparatus of peripheral nerve and its clinical significance. *Ann Chir Main Memb Supér Organe Off Sociétés Chir Main Ann Hand Up Limb Surg*. 1990;9(2):87-97.
9. Vloka JD, Hadzic A, Lesser JB, Kitain E, Geatz H, April EW, et al. A common epineural sheath for the nerves in the popliteal fossa and its possible implications for sciatic nerve block. *Anesth Analg*. 1997;84(2):387-90.
10. Tran DQH, Dugani S, Pham K, Al-Shaafi A, Finlayson RJ. A Randomized Comparison Between Subepineural and Conventional Ultrasound-Guided Popliteal Sciatic Nerve Block. *Reg Anesth Pain Med*. nov 2011;36(6):548-52.
11. Myers RR, Kalichman MW, Reisner LS, Powell HC. Neurotoxicity of local anesthetics: altered perineurial permeability, edema, and nerve fiber injury. *Anesthesiology*. janv 1986;64(1):29-35.
12. Franco CD. Connective Tissues Associated With Peripheral Nerves. *Reg Anesth Pain Med*. 2012;37(4):363-5.
13. Choquet O, Morau D, Biboulet P, Capdevila X. Where should the tip of the needle be located in ultrasound-guided peripheral nerve blocks?: *Curr Opin Anaesthesiol*. oct 2012;25(5):596-602.
14. Franco CD, Clark L. Applied anatomy of the upper extremity. *Tech Reg Anesth Pain Manag*. juill 2008;12(3):134-9.
15. Crile G. Blocking the brachial plexus in tetanus following fracture of the forearm. *Cleveland J Med*. 343-57 1897;
16. Kulenkampff D. Brachial plexus anaesthesia: its indications, technique and dangers. *Ann Surg Radiol Anat*. 87:883-91 1928;

17. Selander D, Dhunér KG, Lundborg G. Peripheral nerve injury due to injection needles used for regional anesthesia. An experimental study of the acute effects of needle point trauma. *Acta Anaesthesiol Scand.* 1977;21(3):182-8.
18. Stan TC, Krantz MA, Solomon DL, Poulos JG, Chaouki K. The incidence of neurovascular complications following axillary brachial plexus block using a transarterial approach. A prospective study of 1,000 consecutive patients. *Reg Anesth.* déc 1995;20(6):486-92.
19. SFAR. Les blocs périphériques des membres chez l'adulte (RPC). 2011.
20. Perlas A, Niazi A, McCartney C, Chan V, Xu D, Abbas S. The sensitivity of motor response to nerve stimulation and paresthesia for nerve localization as evaluated by ultrasound. *Reg Anesth Pain Med.* oct 2006;31(5):445-50.
21. Bigeleisen PE, others. Nerve puncture and apparent intraneural injection during ultrasound-guided axillary block does not invariably result in neurologic injury. *Anesthesiol-Phila THEN HAGERSTOWN-*. 2006;105(4):779.
22. Chan VWS, Perlas A, McCartney CJL, Brull R, Xu D, Abbas S. Ultrasound guidance improves success rate of axillary brachial plexus block. *Can J Anaesth J Can Anesth.* mars 2007;54(3):176-82.
23. Jochum D, Iohom G, Dupré L-J, Bouaziz H. In defense of the peripheral nerve stimulation technique. *Anesth Analg.* oct 2006;103(4):1038-9; author reply 1039.
24. Sites BD, Brull R, Chan VWS, Spence BC, Gallagher J, Beach ML, et al. Artifacts and pitfall errors associated with ultrasound-guided regional anesthesia: Part II: A pictorial approach to understanding and avoidance. *Reg Anesth Pain Med.* avr 2010;35(2 Suppl):S81-92.
25. Hadzic A, Dilberovic F, Shah S, Kulenovic A, Kapur E, Zaciragic A, et al. Combination of intraneural injection and high injection pressure leads to fascicular injury and neurologic deficits in dogs. *Reg Anesth Pain Med.* oct 2004;29(5):417-23.
26. Zetlaoui P.J. L'échographie à 360° en anesthésie. 51ème congrès national d'anesthésie et de réanimation; 2009; 51ème congrès national d'anesthésie et de réanimation, Paris.
27. Schafhalter-Zoppoth I, Gray AT. The musculocutaneous nerve: ultrasound appearance for peripheral nerve block. *Reg Anesth Pain Med.* août 2005;30(4):385-90.
28. Moayeri N, Bigeleisen PE, Groen GJ. Quantitative architecture of the brachial plexus and surrounding compartments, and their possible significance for plexus blocks. *Anesthesiology.* févr 2008;108(2):299-304.
29. Christophe J-L, Berthier F, Boillot A, Tatu L, Viennet A, Boichut N, et al. Assessment of topographic brachial plexus nerves variations at the axilla using ultrasonography. *Br J Anaesth.* oct 2009;103(4):606-12.
30. Retzl G, Kapral S, Greher M, Mauritz W. Ultrasonographic findings of the axillary part of the brachial plexus. *Anesth Analg.* mai 2001;92(5):1271-5.
31. Chin KJ, Chan V. Ultrasound-guided peripheral nerve blockade. *Curr Opin Anaesthesiol.* oct 2008;21(5):624-31.

32. Chin KJ, Perlas A, Chan VWS, Brull R. Needle visualization in ultrasound-guided regional anesthesia: challenges and solutions. *Reg Anesth Pain Med.* déc 2008;33(6):532-44.
33. Sites BD, Neal JM, Chan V. Ultrasound in Regional Anesthesia: Where Should the « Focus » Be Set? *Reg Anesth Pain Med.* nov 2009;34(6):531-3.
34. Franco C, Rahman A, Voronov G, Kerns J, Beck R, Buckenmaier C. Gross Anatomy of the Brachial Plexus Sheath in Human Cadavers. *Reg Anesth Pain Med.* janv 2008;33(1):64-9.
35. Kerns JM. The microstructure of peripheral nerves. *Tech Reg Anesth Pain Manag.* juill 2008;12(3):127-33.
36. Abdallah FW, Chan VW. The Paraneural Compartment: A New Destination? *Reg Anesth Pain Med.* 2013;38(5):375-7.
37. Andersen HL, Andersen SL, Trantum-Jensen J. Injection Inside the Paraneural Sheath of the Sciatic Nerve: Direct Comparison Among Ultrasound Imaging, Macroscopic Anatomy, and Histologic Analysis. *Reg Anesth Pain Med.* 2012;37(4):410-4.
38. Bernucci F, Gonzalez AP, Finlayson RJ, Tran DQH. A Prospective, Randomized Comparison Between Perivascular and Perineural Ultrasound-Guided Axillary Brachial Plexus Block: *Reg Anesth Pain Med.* 2012;37(5):473-7.
39. Tran DQH, Pham K, Dugani S, Finlayson RJ. A Prospective, Randomized Comparison Between Double-, Triple-, and Quadruple-Injection Ultrasound-Guided Axillary Brachial Plexus Block: *Reg Anesth Pain Med.* 2012;37(3):248-53.
40. Imasogie N, Ganapathy S, Singh S, Armstrong K, Armstrong P. A Prospective, Randomized, Double-Blind Comparison of Ultrasound-Guided Axillary Brachial Plexus Blocks Using 2 Versus 4 Injections: *Anesth Analg.* févr 2010;1.
41. González AP, Bernucci F, Pham K, Correa JA, Finlayson RJ, Tran DQ. Minimum effective volume of lidocaine for double-injection ultrasound-guided axillary block. *Reg Anesth Pain Med.* 2013;38(1):16-20.
42. O'Donnell BD, Iohom G. An estimation of the minimum effective anesthetic volume of 2% lidocaine in ultrasound-guided axillary brachial plexus block. *Anesthesiology.* juill 2009;111(1):25-9.
43. Chin KJ, Alakkad H, Cubillos JE. Single, double or multiple-injection techniques for non-ultrasound guided axillary brachial plexus block in adults undergoing surgery of the lower arm. In: *The Cochrane Collaboration, éditeur. Cochrane Database of Systematic Reviews [Internet].* Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd; 2013 [cité 19 mars 2015]. Disponible sur: <http://doi.wiley.com/10.1002/14651858.CD003842.pub4>
44. Ponrouch M, Bouic N, Bringuier S, Biboulet P, Choquet O, Kassim M, et al. Estimation and pharmacodynamic consequences of the minimum effective anesthetic volumes for median and ulnar nerve blocks: a randomized, double-blind, controlled comparison between ultrasound and nerve stimulation guidance. *Anesth Analg.* oct 2010;111(4):1059-64.
45. Karmakar MK, Shariat AN, Pangthipapai P, Chen J. High-Definition Ultrasound Imaging Defines the Paraneural Sheath and the Fascial Compartments Surrounding the Sciatic Nerve at the Popliteal Fossa: *Reg Anesth Pain Med.* 2013;38(5):447-51.

46. Missair A, Weisman RS, Suarez MR, Yang R, Gebhard RE. A 3-Dimensional Ultrasound Study of Local Anesthetic Spread During Lateral Popliteal Nerve Block: What Is the Ideal End Point for Needle Tip Position? *Reg Anesth Pain Med.* 2012;37(6):627-32.
47. Sivashanmugam T, Ray S, Ravishankar M, Jaya V, Selvam E, Karmakar MK. Randomized Comparison of Extrafascial Versus Subfascial Injection of Local Anesthetic During Ultrasound-Guided Supraclavicular Brachial Plexus Block. *Reg Anesth Pain Med.* 10 juin 2015;
48. Perlas A, Wong P, Abdallah F, Hazrati L-N, Tse C, Chan V. Ultrasound-guided popliteal block through a common paraneural sheath versus conventional injection: a prospective, randomized, double-blind study. *Reg Anesth Pain Med.* 2013;38(3):218-25.
49. Clendenen SR, Riutort K, Ladlie BL, Robards C, Franco CD, Greengrass RA. Real-Time Three-Dimensional Ultrasound-Assisted Axillary Plexus Block Defines Soft Tissue Planes: *Anesth Analg.* avr 2009;108(4):1347-50.
50. Karmakar M, Li X, Li J, Sala-Blanch X, Hadzic A, Gin T. Three-dimensional/four-dimensional volumetric ultrasound imaging of the sciatic nerve. *Reg Anesth Pain Med.* 2012;37(1):60-6.
51. Choquet O, Noble GB, Abbal B, Morau D, Bringuier S, Capdevila X. Subparaneural Versus Circumferential Extraneural Injection at the Bifurcation Level in Ultrasound-Guided Popliteal Sciatic Nerve Blocks: A Prospective, Randomized, Double-Blind Study. *Reg Anesth Pain Med.* 2014;39(4):306-11.
52. Ripart J. Quel apprentissage de l'anesthésie locorégionale ? *Ann Fr Anesth Réanimation.* janv 2006;25(1):89-95.
53. Morau D, Levy F, Bringuier S, Biboulet P, Choquet O, Kassim M, et al. Ultrasound-Guided Evaluation of the Local Anesthetic Spread Parameters Required for a Rapid Surgical Popliteal Sciatic Nerve Block: *Reg Anesth Pain Med.* nov 2010;35(6):559-64.
54. Raymond SA, Steffensen SC, Gugino LD, Strichartz GR. The role of length of nerve exposed to local anesthetics in impulse blocking action. *Anesth Analg.* 1989;68(5):563-70.
55. Choquet O. [1% mepivacaine and axillary block: duration of the sensory and motor blockade]. *Ann Fr Anesthésie Réanimation.* 1998;17(9):1104-8.
56. Leeson S, Strichartz G. Kinetics of Uptake and Washout of Lidocaine in Rat Sciatic Nerve In Vitro: *Anesth Analg.* mars 2013;116(3):694-702.
57. Krediet AC, Moayeri N, Bleys RLAW, Groen GJ. Intraneural or Extraneural: Diagnostic Accuracy of Ultrasound Assessment for Localizing Low-Volume Injection. *Reg Anesth Pain Med.* 2014;39(5):409-13.

SERMENT D'HIPPOCRATE

« Au moment d'être admis 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 dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés.

Reçu 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 et méprisé si j'y manque. »

TITRE

Bloc axillaire échoguidé : évaluation prospective, contrôlée et randomisée des performances de l'injection sous-paraneurale.

RÉSUMÉ

Introduction : L'injection sous-paraneurale, sous la gaine qui entoure le nerf, se définit par une diffusion longitudinale de l'anesthésique local, le long du nerf, sur plusieurs centimètres. Au niveau poplité, l'injection sous-paraneurale du nerf sciatique a permis une diminution du délai d'action. L'objectif de ce travail était de tester l'hypothèse qu'une injection sous-paraneurale des 4 nerfs au niveau axillaire entraînerait une diminution du délai d'action comparée à une injection périneurale conventionnelle. Pour illustrer la diffusion nous avons réalisé une échographie en 3-Dimensions.

Méthode : De mars à juin 2013, tous les patients consécutifs bénéficiant d'un bloc axillaire échoguidé pour chirurgie de la main ou du poignet ont été randomisés prospectivement en 2 groupes : injection périneurale circonférentielle autour de chacun des 4 nerfs pour obtenir une image en cocarde au site d'injection (groupe PN) ou injection en sous-paraneural pour obtenir une diffusion le long de chaque nerf sur 5cm (groupe PA). La diffusion était objectivée par la translation de la sonde en 2-D durant l'injection puis en 3-D après l'injection. Vingt millilitres de mépivacaïne, 10 mg/ml étaient injectés, 5 ml par nerf. Le critère principal était la diminution du délai d'action (en min). Les objectifs secondaires étaient le taux de succès, la durée de procédure (repérage + ponction), le temps total de réalisation de l'anesthésie (procédure + délai d'action) et l'aspect de gonflement du nerf. Pour obtenir une différence cliniquement significative de 5 min avec un risque α de 5% et une puissance $1-\beta$ de 80%, 40 patients par groupe étaient nécessaires. Les résultats sont exprimés en Moyenne \pm DS, un test T de Student a permis de comparer les groupes, $P < 0,05$ était considéré comme significatif.

Résultats : 40 patients dans chaque groupe ont été inclus dans cette étude randomisée en aveugle. La diffusion circonférentielle sous-paraneurale sur 5 cm a été observée pour les 160 injections du groupe PA et pour aucune du groupe PN. Le taux de succès n'était pas significativement différent (100% vs 90%, $p=0,115$ respectivement pour PA et PN). Dans le groupe PA, le délai d'action et le temps total d'anesthésie étaient diminués de 7 min soit 38% et 28% ($12,1 \pm 3,0$ min vs $19,4 \pm 5,0$ min, $p < 0,001$ et $17,5 \pm 4,0$ min vs $24,4 \pm 5,0$ min $p < 0,001$ respectivement pour PA et PN). Il n'y avait pas de différence significative pour les autres paramètres. Aucune injection intraneurale n'a été notée.

Discussion : La technique d'injection en sous-paraneural est possible en axillaire et semble permettre d'associer taux de succès excellent, rapidité de réalisation et délai d'action court. L'obtention d'images échographiques montrant la diffusion de l'AL non seulement autour du nerf mais en longitudinal sur 5cm pourrait être proposée comme objectif d'injection puisqu'il semble être prédictible du succès du bloc.

MOTS-CLÉS

Bloc axillaire échoguidé – Anesthésie locorégionale – Injection sous-paraneurale – Injection périneurale – Reconstruction tridimensionnelle – Délais d'installation – Paranèvre