



Évaluation des performances d'un moniteur de curarisation sans fil par rapport à une référence filaire : étude WiTOF

Julien Cressent

► To cite this version:

Julien Cressent. Évaluation des performances d'un moniteur de curarisation sans fil par rapport à une référence filaire : étude WiTOF. Médecine humaine et pathologie. 2023. dumas-05097407

HAL Id: dumas-05097407

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-05097407v1>

Submitted on 4 Jun 2025

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

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



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



Université de Poitiers

Faculté de Médecine et de Pharmacie

Année 2023

THESE

POUR LE DIPLÔME D'ETAT
DE DOCTEUR EN MÉDECINE
(Décret du 25 novembre 2016)

Présentée et soutenue publiquement

Le 10 mai 2023 à 17h

Par Monsieur Julien CRESSENT

Évaluation des performances d'un moniteur de curarisation sans fil par
rapport à une référence filaire

Etude WiTOF

COMPOSITION DU JURY

Président : Monsieur le Professeur Denis FRASCA

Membres : Monsieur le Professeur Bertrand DEBAENE

Monsieur le Professeur Jean-Pierre FAURE

Monsieur le Docteur Pierre-Marie SAULAIS

Directeur de thèse : Monsieur le Professeur Matthieu BOISSON



Université de Poitiers

Faculté de Médecine et de Pharmacie

Année 2023

THESE

POUR LE DIPLÔME D'ETAT
DE DOCTEUR EN MÉDECINE
(Décret du 25 novembre 2016)

Présentée et soutenue publiquement

Le 10 mai 2023 à 17h

Par Monsieur Julien CRESSENT

Évaluation des performances d'un moniteur de curarisation sans fil par
rapport à une référence filaire

Etude WiTOF

COMPOSITION DU JURY

Président : Monsieur le Professeur Denis FRASCA

Membres : Monsieur le Professeur Bertrand DEBAENE

Monsieur le Professeur Jean-Pierre FAURE

Monsieur le Docteur Pierre-Marie SAULAIN

Directeur de thèse : Monsieur le Professeur Matthieu BOISSON



LISTE DES ENSEIGNANTS

Année universitaire 2022 – 2023

SECTION MEDECINE

Professeurs des Universités-Praticiens Hospitaliers

- BINET Aurélien, chirurgie infantile
- BOISSON Matthieu, anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
- BOULETI Claire, cardiologie
- BOURMEYSTER Nicolas, biologie cellulaire
- BRIDOUX Frank, néphrologie
- BURUOCA Christophe, bactériologie-virologie
- CHEZE-LE REST Catherine, biophysique et médecine nucléaire
- CHRISTIAENS Luc, cardiologie
- CORBÉ Pierre, chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
- COUDROY Rémi, médecine intensive-réanimation – **Assesseur 2^e cycle**
- DAHYOT-FIZELIER Claire, anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
- DEBIAIS Françoise, rhumatologie
- DONATINI Gianluca, chirurgie viscérale et digestive
- DROUOT Xavier, physiologie – **Assesseur recherche**
- DUFOUR Xavier, Oto-Rhino-Laryngologie – **Assesseur 2^e cycle, stages hospitaliers**
- FAURE Jean-Pierre, anatomie
- FRASCA Denis, anesthésiologie-réanimation
- FRITEL Xavier, gynécologie-obstétrique
- GERVAIS Elisabeth, rhumatologie
- GICQUEL Ludovic, pédopsychiatrie
- GILBERT-DUSSARDIER Brigitte, génétique
- GOMBERT Jean-Marc, immunologie
- GOIJON Jean-Michel, anatomie et cytologie pathologiques
- GUILLEVIN Rémy, radiologie et imagerie médicale
- HAUET Thierry, biochimie et biologie moléculaire
- ISAMBERT Nicolas, cancérologie
- JAAFARI Nematollah, psychiatrie d'adultes
- JABER Mohammed, cytologie et histologie
- JAYLE Christophe, chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
- KARAYAN-TAPON Lucie, cancérologie
- KEMOUN Gilles, médecine physique et de réadaptation (en disponibilité)
- LECLERE Franck, chirurgie plastique, reconstructrice
- LECRON Jean-Claude, biochimie et biologie moléculaire
- LELEU Xavier, hématologie
- LEVEQUE Nicolas, bactériologie-virologie – **Assesseur 1^e cycle**
- LEVEZIEL Nicolas, ophtalmologie
- MACCHI Laurent, hématologie
- MCHEIKI Jiad, chirurgie infantile
- MEURICE Jean-Claude, pneumologie
- MILLOT Frédéric, pédiatrie, oncologie pédiatrique
- MIMOUZ Olivier, médecine d'urgence
- NASR Nathalie, neurologie
- NEAU Jean-Philippe, neurologie – **Assesseur pédagogique médecine**
- ORIOT Denis, pédiatrie
- PACCALIN Marc, gériatrie – **Doyen, Directeur de la section médecine**
- PERAULT-POCHAT Marie-Christine, pharmacologie clinique

- PERDRISOT Rémy, biophysique et médecine nucléaire – **Assesseur LAS et 1^e cycle**
- PERRAUD CATEAU Estelle, parasitologie et mycologie
- PRIES Pierre, chirurgie orthopédique et traumatologique
- RAMMAERT-PALTRIE Blandine, maladies infectieuses
- RICHER Jean-Pierre, anatomie
- RIGOARD Philippe, neurochirurgie
- ROBLOT France, maladies infectieuses, maladies tropicales
- ROBLOT Pascal, médecine interne
- SAULNIER Pierre-Jean, thérapeutique
- SCHNEIDER Fabrice, chirurgie vasculaire
- SILVAIN Christine, gastro-entérologie, hépatologie – **Assesseur 3^e cycle**
- TASU Jean-Pierre, radiologie et imagerie médicale
- THIERRY Antoine, néphrologie – **Assesseur 1^e cycle**
- THILLE Arnaud, médecine intensive-réanimation
- TOUGERON David, gastro-entérologie
- WAGER Michel, neurochirurgie
- XAVIER Jean, pédopsychiatrie

Maîtres de Conférences des Universités-Praticiens Hospitaliers

- ALBOUY Marion, santé publique – **Référente égalité-diversité**
- ALLAIN Géraldine, chirurgie thoracique et cardio-vasculaire (en mission 1 an à/c 01/11/2022)
- BEN-BRIK Eric, médecine du travail (en détachement)
- BILAN Frédéric, génétique
- CAYSSIALS Emilie, hématologie
- CREMINITER Julie, bactériologie-virologie
- DIAZ Véronique, physiologie – **Référente relations internationales**
- EGLOFF Matthieu, histologie, embryologie et cytogénétique
- FROUIN Eric, anatomie et cytologie pathologiques
- GACHON Bertrand, gynécologie-obstétrique (en disp 1 an à/c du 31/07/2022)
- GARCIA Magali, bactériologie-virologie
- GUENEZAN Jérémy, médecine d'urgence
- JAVAUGUE Vincent, néphrologie
- JUTANT Étienne-Marie, pneumologie
- KERFORNE Thomas, anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire (en mission 1 an à/c 01/11/2022)
- LAFAY-CHEBASSIER Claire, pharmacologie clinique
- LIUU Evelyne, gériatrie
- MARTIN Mickaël, médecine interne – **Assesseur 2^e cycle**
- PALAZZO Paola, neurologie (en disp 3 ans à/c du 01/07/2020)
- PICHON Maxime, bactériologie-virologie
- PIZZOFERRATO Anne-Cécile, gynécologie-obstétrique
- RANDRIAN Violaine, gastro-entérologie, hépatologie
- SAPANET Michel, médecine légale
- THUILLIER Raphaël, biochimie et biologie moléculaire
- VALLEE Maxime, urologie

Professeur des universités

- PELLERIN Luc, biochimie et biologie moléculaire

Professeur des universités de médecine générale

- BINDER Philippe

Maitre de Conférences des universités de médecine générale

- MIGNOT Séphanie

Professeur associé des universités des disciplines médicales

- FRAT Jean-Pierre, médecine intensive-réanimation

Maitre de Conférences associé des universités des disciplines médicales

- HARIKA-GERMANEAU Ghina, psychiatrie d'adultes

Professeurs associés de médecine générale

- ARCHAMBAULT Pierrick
- AUDIER Pascal
- BIRAUT François
- BRABANT Yann
- FRECHE Bernard
- PARTHENAY Pascal

Maitres de Conférences associés de médecine générale

- BONNET Christophe
- DU BREUILLAG Jean
- JEDAT Vincent

Professeurs émérites

- GIL Roger, neurologie (08/2023)
- GUILHOT-GAUDEFFROY François, hématologie et transfusion (08/2023)
- HERPIN Daniel, cardiologie (08/2023)
- INGRAND Pierre, biostatistiques, informatique médicale (08/2025)
- MARECHAUD Richard, médecine interne (24/11/2023)
- RICCO Jean-Baptiste, chirurgie vasculaire (08/2024)
- ROBERT René, médecine intensive-réanimation (30/11/2024)
- SENON Jean-Louis, psychiatrie d'adultes (08/2023)
- TOUCHARD Guy, néphrologie (08/2023)

Professeurs et Maitres de Conférences honoraires

- AGIUS Gérard, bactériologie-virologie
- ALCALAY Michel, rhumatologie
- ALLAL Joseph, thérapeutique (ex-émérite)
- ARIES Jacques, anesthésiologie-réanimation
- BABIN Michèle, anatomie et cytologie pathologiques
- BABIN Philippe, anatomie et cytologie pathologiques
- BARBIER Jacques, chirurgie générale (ex-émérite)
- BARRIERE Michel, biochimie et biologie moléculaire
- BECQ-GIRAUDON Bertrand, maladies infectieuses, maladies tropicales (ex-émérite)
- BEGON François, biophysique, médecine nucléaire
- BOINOT Catherine, hématologie – transfusion
- BONTOUX Daniel, rhumatologie (ex-émérite)
- BURIN Pierre, histologie
- CARRETIER Michel, chirurgie viscérale et digestive (ex-émérite)
- CASTEL Olivier, bactériologie-virologie : hygiène
- CASTETS Monique, bactériologie -virologie – hygiène
- CAVELLIER Jean-François, biophysique et médecine nucléaire
- CHANSIGAUD Jean-Pierre, biologie du développement et de la

reproduction

- CLARAC Jean-Pierre, chirurgie orthopédique
- DABAN Alain, cancérologie radiothérapie (ex-émérite)
- DAGREGORIO Guy, chirurgie plastique et reconstructrice
- DEBAENE Bertrand, anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
- DESMAREST Marie-Cécile, hématologie
- DEMANGE Jean, cardiologie et maladies vasculaires
- DORE Bertrand, urologie (ex-émérite)
- EUGENE Michel, physiologie (ex-émérite)
- FAUCHERE Jean-Louis, bactériologie-virologie (ex-émérite)
- FONTANEL Jean-Pierre, Oto-Rhino Laryngologie (ex-émérite)
- GOMES DA CUNHA José, médecine générale (ex-émérite)
- GRIGNON Bernadette, bactériologie
- GUILLARD Olivier, biochimie et biologie moléculaire
- GUILLET Gérard, dermatologie
- JACQUEMIN Jean-Louis, parasitologie et mycologie médicale
- KAMINA Pierre, anatomie (ex-émérite)
- KITZIS Alain, biologie cellulaire (ex-émérite)
- KLOSSEK Jean-Michel, Oto-Rhino-Laryngologie
- KRAIMPS Jean-Louis, chirurgie viscérale et digestive
- LAPIERRE Françoise, neurochirurgie (ex-émérite)
- LARSEN Christian-Jacques, biochimie et biologie moléculaire
- LEVARD Guillaume, chirurgie infantile
- LEVILLAIN Pierre, anatomie et cytologie pathologiques
- MAIN de BOISSIERE Alain, pédiatrie
- MARCELLI Daniel, pédopsychiatrie (ex-émérite)
- MARILLAUD Albert, physiologie
- MAUCO Gérard, biochimie et biologie moléculaire (ex-émérite)
- MENU Paul, chirurgie thoracique et cardio-vasculaire (ex-émérite)
- MORICHAU-BEAUCHANT Michel, hépato-gastro-entérologie
- MORIN Michel, radiologie, imagerie médicale
- PAQUEREAU Joël, physiologie
- POINTREAU Philippe, biochimie
- POURRAT Olivier, médecine interne (ex-émérite)
- REISS Daniel, biochimie
- RIDEAU Yves, anatomie
- RODIER Marie-Hélène, parasitologie et mycologie
- SULTAN Yvette, hématologie et transfusion
- TAILLINEAU Claude, biochimie et biologie moléculaire
- TANZER Joseph, hématologie et transfusion (ex-émérite)
- TOURANI Jean-Marc, cancérologie
- VANDERMARcq Guy, radiologie et imagerie médicale

SECTION PHARMACIE

Professeurs des universités-praticiens hospitaliers

- COUET William, pharmacie clinique
- DUPUIS Antoine, pharmacie clinique – **Assesseur pédagogique pharmacie**
- FOUCHER Yohann, santé publique, biostatistiques et épidémiologie
- MARCHAND Sandrine, pharmacologie, pharmacocinétique
- RAGOT Stéphanie, santé publique

Professeurs des universités

- BODET Charles, microbiologie
- CARATO Pascal, chimie thérapeutique
- FAUCONNEAU Bernard, toxicologie
- GUILLARD Jérôme, pharmacochimie
- IMBERT Christine, parasitologie et mycologie médicale
- OLIVIER Jean-Christophe, pharmacie galénique, biopharmacie et pharmacie industrielle
- PAGE Guyène, biologie cellulaire, biothérapeutiques
- RABOUAN Sylvie, chimie physique, chimie analytique
- SARROUILHÉ Denis, physiologie humaine – **Directeur de la section pharmacie**

Maîtres de conférences des universités-praticiens hospitaliers

- BARRA Anne, immuno-hématologie
- BINSON Guillaume, pharmacie clinique
- THEVENOT Sarah, hygiène, hydrologie et environnement

Maîtres de conférences

- BARRIER Laurence, biochimie générale et clinique
- BON Delphine, biophysique
- BRILLAULT Julien, pharmacocinétique, biopharmacie
- BUYCK Julien, microbiologie
- CHAUZY Alexia, pharmacologie fondamentale et thérapeutique
- DEBORDE-DELAGE Marie, chimie analytique
- DELAGE Jacques, biomathématiques, biophysique
- FAVOT-LAFORGE Laure, biologie cellulaire et moléculaire (HDR)
- GIRARDOT Marion, biologie végétale et pharmacognosie
- GREGOIRE Nicolas, pharmacologie et pharmacométrie (HDR)
- HUSSAIN Didja, pharmacie galénique (HDR)
- INGRAND Sabrina, toxicologie
- MARVINGT-MOUNIR Cécile, pharmacochimie
- PAIN Stéphanie, toxicologie (HDR)
- PINET Caroline, physiologie, anatomie humaine
- RIoux-BILAN Agnès, biochimie – **Référente CNAES – Responsable du dispositif COME'In**
- TEWES Frédéric, chimie et pharmacotechnie
- THOREAU Vincent, biologie cellulaire et moléculaire
- WAHL Anne, phytothérapie, herborisation, aromathérapie

Maîtres de conférences associés - officine

- DELOFFRE Clément, pharmacien
- ELIOT Guillaume, pharmacien
- HOUNGANLIN Lydwin, pharmacien

CENTRE DE FORMATION UNIVERSITAIRE EN ORTHOPHONIE (C.F.U.O.)

- GICQUEL Ludovic, PU-PH, **directeur du C.F.U.O.**
- VERON-DELOR Lauriane, maître de conférences en psychologie

ENSEIGNEMENT DE L'ANGLAIS

- DEBAIL Didier, professeur certifié

CORRESPONDANTS HANDICAP

- Pr PERDRISOT Rémy, section médecine
- Dr RIOUX-BILAN Agnès, section pharmacie

Table des matières

Remerciements	3
Liste des abréviations	7
Table des illustrations	9
Introduction	11
I. Généralités	12
A. Monitorage du bloc neuromusculaire	12
1. Curarisation résiduelle	12
2. Entreprendre le monitorage	13
B. Recommandations françaises et européennes d'utilisation des curares en anesthésie	13
C. Recommandations des autres pays	15
II. Utilisation d'un monitorage sans fil	15
A. Quel intérêt à l'utilisation du sans fil ?	16
B. Le niveau de sécurité est-il respecté ?	17
1. Fonctionnement de la technologie Bluetooth	19
C. Quelles sont les limites des dispositifs sans fil ?	21
III. Matériels et méthodes	22
A. Objectif et critère de jugement principal	22
1. Objectif principal	22
2. Critère de jugement principal	22
B. Objectifs et critères de jugement secondaires	22
1. Objectifs secondaires	22
2. Critères de jugement secondaires	22
C. Population	23
1. Critères d'inclusion	23
2. Critères de non inclusion	23
D. Déroulement de la recherche	24
1. Schéma de la recherche	24
2. Protocole d'anesthésie	25
Induction	25

Curarisation	25
Entretien	25
Décurarisation	26
E. Relevé de données	26
1. Dispositifs médicaux	26
TOFScan	26
WiTOF	26
2. Monitorage	27
F. Analyse statistique	27
1. Taille de l'étude	27
2. Méthode statistique	28
IV. Résultats	29
A. Caractéristiques de la population	29
1. Données démographiques	29
2. Données per-opératoires chirurgicales et anesthésiques	31
Induction	31
Type de décurarisation	32
B. Critère de jugement principal : T4/T1 > 90%	32
C. Critères de jugement secondaire	34
1. Curarisation	34
2. Décurarisation	35
TOF = 1	35
TOF = 4/4	35
Equipement en salle et interférences	36
V. Discussion	38
VI. Conclusion	41
VII. Bibliographie	42

Remerciements

Monsieur le Professeur Debaene, je suis honoré et vous remercie d'avoir accepté de faire partie de mon jury ainsi que d'avoir pris le temps d'étudier ce travail. Être impressionné par votre carrière est une chose, mais je reste fasciné par l'étendue de votre culture. Ces moments privilégiés à vos côtés en curiethérapie ont à nouveau forcé mon admiration à votre égard et je garde auprès de moi ces nombreuses recommandations que je parcourrai entre deux œuvres de science-fiction.

Monsieur le Professeur Frasca, Denis, tu as accepté d'être mon président de jury malgré tes nombreuses obligations, j'en suis très honoré. Je te remercie pour ce temps précieux que tu m'as accordé pour l'aspect statistique du travail.

Monsieur le Professeur Boisson, Matthieu, tu m'as fait l'honneur d'être mon directeur de thèse et de me proposer ce sujet dès le début de mon internat. J'ai beaucoup appris tout au long de ce travail. Merci de m'avoir suivi et épaulé malgré ton emploi du temps très chargé.

A vous deux, Denis, Matthieu, je vous remercie sincèrement pour votre accueil dans le département ainsi que lors de mes débuts à JFR puis pour votre suivi tout au long de mon parcours. Vous avez pu ancrer en moi de très nombreuses connaissances, de la rigueur ainsi que de la discipline qui m'aideront à être un professionnel appliqué auprès de mes futurs patients.

Monsieur le Professeur Faure, je vous remercie sincèrement d'avoir accepté d'étudier ce travail ainsi que de faire partie de mon jury. Je suis très honoré de votre présence.

Pierre-Marie, t'avoir dans mon jury a beaucoup de sens pour moi, ta rigueur, ta gentillesse, tes connaissances et ton application au travail sont un exemple fort qu'il faudra m'efforcer de suivre.

Mamie, nous avons conclu un marché, merci de t'être efforcée de le respecter. Ta présence, tes encouragements ont été un moteur qui m'a permis au quotidien de poursuivre mon chemin. Nous verrons par la suite pour passer notre second marché pour que tu puisses un jour être cette arrière grand mère que tu as tant espéré devenir.

Papy, tu as été mon exemple et tu as su à ta manière poser la graine qui a pris presque deux décennies à germer. Même si nous n'avons pas eu le temps de conclure de marché ensemble à l'époque, tu as su marquer et rester ancré profondément auprès des gens qui t'aiment et au fond de moi même. Merci de m'avoir aidé, jeune homme turbulent, à finaliser mes travaux scientifiques avec toute la patience dont toi seul savait faire preuve.

Maman, voilà ! Enfin ! Moi je vais finir et toi tu pars à la retraite ! Merci pour ton soutien indéfectible que ce soit dans nos discussions de vie personnelle ou professionnelle. Tu as su borner un chemin et m'accompagner sur celui-ci pour modeler celui que je suis devenu, je poursuivrai mes efforts pour que tu sois fière de moi.

Cyril, ces échappatoires que tu m'as offert ont été des petits îlots de réconfort dans un océan d'angoisses et de doutes constants. Tu es un modèle et une fierté pour moi. J'espère pouvoir te rendre un jour ce que tu as pu m'apporter, merci.

Stéphan, toujours un mot pour rire, une contrepèterie, des choses simples mais qui permettent de s'évader. Par ton soutien et tes encouragements durant ces dix années, tu as joué un rôle clé dans mon accompagnement. Peu de personnes sont à même d'apaiser par leur simple présence, merci.

Charles, mon cousin, mon ami, tu m'as devancé de quelques années mais, je trace tout doucement le reste de mon chemin. Ces années de proximité à Lille, ces nombreux films ont été des moments précieux. Merci pour ton accompagnement tout au long de ces longues années.

3 Ceps, le triceps par sa réunion en 3 chefs permet de développer sa force et sa puissance, Paul, Victor, mes amis, c'est à vos côtés que ces 5 années d'internat ont été un vrai bonheur. Promis mon long head, je vais travailler sur mon tact. Mon fragilus je respecte ta passion pour le RC Lens et je l'admire.

Vincent, c'était une évidence après notre rencontre qu'il fallait qu'on monte notre groupe de jeu. Un jour je sortirai de Subterra. Merci pour ces superbes soirées.

Jean, mon ami, mon siffleur de chansons à Den Haag. Ce n'est pas la distance qui a perturbé notre décennie d'amitié. Ces moments de rigolades sont précieux et je les chéris encore aujourd'hui.

Jérémy, Loïc, mes deux compères d'IFSI, malgré mon absence indéniable et flagrante, vous avez une place particulière dans mon cœur.

Toto, Théo, que ce soit le dimanche soir, ou à la sauvage, ces échappées sont des petites bulles d'oxygène, de sel et de rage que j'espère encore nombreuses dans le futur

Aux équipes paramédicales, d'IADE et d'IDE qui ont pris le temps de m'accompagner, de me former, de respecter mes erreurs et de me guider pour me faire progresser, toujours avec le sourire. Je vous remercie toutes et tous. (Séverin, il paraît que je suis une espèce rare dans le 62)

Jeannette, par ta présence à mes côtés je suis passé d'une palette maussade de gris du Nord à une palette polychrome orientée blond. D'une vision monochrome à des couleurs sortantes du visible. Ta gentillesse et ta tendresse sont un cocon permettant de me faire évoluer. Je suis admiratif et fier de ton parcours admirable.

Je t'aime.

Liste des abréviations

JNM : Jonction neuromusculaire

TOF : Train of four

T4/T1 : Ratio de la quatrième stimulation sur la première

T4/T1R : Ratio de la quatrième stimulation sur la première stimulation référente

PTC : Post tetanic count

SSPI : Salle de surveillance post interventionnelle

RFE : Recommandations formalisées d'experts

SFAR : Société française d'anesthésie réanimation

IR : Infrarouge

OR : Onde radio

ITU : Union internationale des télécommunications

ISM : Bande industrielle, scientifique et médicale

FHSS : Frequency hopping spread spectrum

L2CAP : Logical link control & adaptation protocol

ASA : American society of anesthesiology

Table des illustrations

Figure 1 : Spectre des ondes électromagnétiques	19
Figure 2 : Couches d'un dispositif Bluetooth	21
Figure 3 : Méthode de randomisation	25
Figure 4 : TOFScan	27
Figure 5 : WiTOF	28
Tableau 1 : Données démographiques des patients	31
Tableau 2 : Données de bloc opératoire	32
Tableau 3 : Données de décurarisation	33
Tableau 4 : Etude de la décurarisation	34
Figure 6 : Méthode de Bland et Altman comparant la moyenne d'obtention d'un T4/T1 > 90 % à la différence de moyennes	34
Figure 7 : Courbe de récupération T4/T1 > 90% en fonction du temps	35
Tableau 5 : Données de curarisation	36
Tableau 6 : Équipement en salle	37
Tableau 7 : Données d'interférence	38

Introduction

L'utilisation de curares est une pratique courante lors de l'anesthésie générale. Avec l'augmentation du nombre annuel de chirurgies, leur utilisation est plus fréquente. Les données récentes indiquent des manquements sur la surveillance de l'action de ces produits (1). Ainsi, les sociétés savantes se sont positionnées quant à leurs utilisations et surveillances associées (1,2).

Compte tenu des caractéristiques pharmacodynamiques et pharmacocinétiques des curares et de leur variabilité inter-individuelle, un monitorage du bloc neuro-musculaire est nécessaire en pratique clinique pour s'assurer de leur effet, leur élimination et éviter les complications post-opératoires et notamment respiratoires (3–5).

L'utilisation de l'accélérométrie à l'adducteur du pouce lors de la stimulation du nerf ulnaire est aujourd'hui la référence pour le suivi des paramètres de décurarisation des patients. Les moniteurs utilisés jusqu'à présent sont munis de fils reliant le patient à un moniteur déporté vers la station d'anesthésie.

Avec l'arrivée d'utilisation courante de technologies sans fil dans la vie quotidienne, il semble logique de voir apparaître ces technologies pour une utilisation professionnelle dans un bloc opératoire. L'utilisation du sans fil pourrait permettre de s'affranchir d'un nombre non négligeable de désagréments dans un environnement déjà très chargé.

C'est dans l'optique d'évaluer un nouveau moniteur sans fil disponible sur le marché que nous avons mené ce travail.

I. Généralités

Cela fait plus de 70 ans que les premières utilisations de curares non dépolarisants ont été décrites (6). Leur utilisation donne de meilleures conditions pour la chirurgie, notamment abdominale, cela ne se fait pas sans risque. Dans les années suivant le début de leur utilisation, il a été établi que l'utilisation des curares en anesthésie majorait le risque de décès (7). Ces décès intervenaient sur des défaillances cardiovasculaires pour 37% des cas et sur des défaillances respiratoires pour 67% des cas. Ces dernières étaient probablement la conséquence d'une curarisation résiduelle. Mais ces données proviennent d'études anciennes où l'utilisation d'un monitorage de l'action des curares ne faisait pas l'objet de recommandations et où il n'était pas pratiqué d'antagonisation.

Montrer et comprendre l'action des curares reste encore aujourd'hui un sujet d'intérêt avec, chaque année, un nombre croissant de publications scientifiques, comme le montre cette revue récente de G.S. Murphy (8).

A. Monitorage du bloc neuromusculaire

1. Curarisation résiduelle

La curarisation résiduelle post-opératoire et ses complications ont mené au monitorage per-opératoire de la curarisation. C'est dans les années 1970 qu'apparaît l'utilisation du Train-de-quatre ou Train-of-four (TOF), et à partir des années 90 que la littérature retrouve un nombre de complications plus importantes pour une valeur de T4/T1 inférieure à

90% à l'adducteur du pouce (3,9), un T4/T1 supérieur à 90% étant décrit comme nécessaire pour avoir une récupération de la fonction des muscles pharyngés. C'est en effet l'atteinte des ces muscles (10) qui est à l'origine de troubles de la déglutition et donc d'une mauvaise protection des voies aériennes. Cela constitue un facteur de risque d'apparition d'évènements respiratoires en salle de surveillance post interventionnelle (SSPI) (11,12), d'un allongement du temps de présence de SSPI (13) et d'augmentation du risque de pneumopathie post-opératoire (4,5,14). Ainsi, grâce à la mise en place de ce monitorage, l'incidence de curarisation résiduelle dans certains centres a pu être réduite de 60% à seulement 3% (15).

2. Entreprendre le monitorage

La sensibilité des muscles aux curares est variable. Ce monitorage doit être réalisé sur un muscle ayant une sensibilité élevée aux curares et dont la cinétique de décurarisation est lente. Les dernières recommandations formalisées d'experts (RFE) de la société française d'anesthésie et de réanimation (SFAR) préconisent l'utilisation de l'adducteur du pouce par stimulation du nerf ulnaire. Pour éliminer une curarisation résiduelle, il faut un monitorage quantitatif par accéléromyographie à l'adducteur du pouce avec utilisation du rapport T4/T1 et une intensité supra maximale (16,17).

B. Recommandations françaises et européennes d'utilisation des curares en anesthésie

En France, l'utilisation des curares en anesthésie se base sur les RFE de la SFAR (2). Ainsi, il est recommandé :

- d'administrer un curare pour faciliter l'intubation de la trachée

- d'administrer un curare pour réduire les traumatismes du pharynx et/ou du larynx à l'intubation de la trachée
- d'administrer un curare pour faciliter l'acte opératoire en chirurgie abdominale par laparotomie ou laparoscopie
- de monitorer la curarisation en per-opératoire
- d'avoir quatre réponses musculaires au TOF avant d'utiliser la néostigmine lors de l'utilisation d'un curare non dépolarisant
- de poursuivre le monitorage de la décurarisation jusqu'à l'obtention d'un rapport supérieur à 90% au T4/T1

Il est probablement recommandé :

- d'utiliser un monitorage à l'adducteur du pouce en per-opératoire
- d'utiliser un monitorage quantitatif de la curarisation à l'adducteur du pouce pour le diagnostic de la curarisation résiduelle et d'obtenir un rapport T4/T1 supérieur à 90% pour éliminer formellement le diagnostic de curarisation résiduelle.

Il n'existe par contre pas assez de données dans la littérature pour établir une recommandation sur :

- l'utilisation d'un monitorage de la curarisation lors de l'intubation de la trachée. Dans le cas où un monitorage serait utilisé, il faut probablement utiliser les muscles sourciliers, plus sensibles à l'action des curares.
- le niveau de bloc neuromusculaire à atteindre en chirurgie abdominale par laparotomie ou laparoscopie.

Plus récemment, en 2022, des recommandations européennes (1) sur la gestion périopératoire de la curarisation recommandent l'utilisation d'un curare pour l'intubation de la trachée pour éviter les traumatismes pharyngo-laryngés ainsi que l'approfondissement du bloc neuromusculaire si nécessaire pour améliorer les conditions

chirurgicales. Ainsi ces recommandations précisent la nécessité de monitorer la curarisation à l'adducteur du pouce par stimulation du nerf ulnaire pour suivre la décurarisation et exclure une paralysie résiduelle. Il est recommandé d'obtenir une décurarisation spontanée avancée ($TOF > 20\%$) avant d'entreprendre une décurarisation pharmacologique et le seuil fixé de décurarisation est défini par un $TOF > 90\%$.

C. Recommandations des autres pays

Au Royaume-Uni en 2021, il est recommandé de monitorer la curarisation à l'adducteur du pouce par stimulation du nerf ulnaire dès lors que l'utilisation d'un curare est nécessaire et d'obtenir un rapport $T4/T1 > 90\%$ lors de la décurarisation (18) .

Au Canada en 2020, l'utilisation d'un monitorage est obligatoire lors de l'utilisation d'un curare, sans précision sur le site d'utilisation ni l'objectif attendu lors de la décurarisation (19).

En Nouvelle-Zélande en 2017, il est précisé que le monitorage quantitatif de la curarisation devrait être utilisé dès qu'un curare est utilisé lors d'une anesthésie (20).

II. Utilisation d'un monitorage sans fil

Avec le développement des nouvelles technologies, on assiste à une démocratisation des dispositifs sans fil dans les objets du quotidien. Suivant l'avancée technologique, il est intéressant de se poser la question de l'intérêt d'apporter un outil de monitorage sans fil dans un bloc opératoire. L'arrivée de ces dispositifs ne doit pas se faire au détriment du niveau de sécurité déjà en place dans la prise en charge

des patients. Enfin, il est important de connaître les limites de ces nouveaux dispositifs.

A. Quel intérêt à l'utilisation du sans fil ?

Accueillir un patient au bloc opératoire, passe systématiquement par l'étape de la mise en place du monitorage, s'accompagnant invariablement de nombreux câbles reliés à des moniteurs.

La législation par le décret du 05 décembre 1994 impose des éléments de monitorage auxquels viennent s'ajouter ceux conseillés par les RFE de la SFAR ainsi que ceux jugés nécessaires par le médecin anesthésiste-réanimateur en charge du patient.

Tous ces éléments, associés aux autres dispositifs nécessaires pour la réalisation d'une anesthésie (perfusion intraveineuse, sonde d'intubation, tuyaux de respirateur etc...) et ceux nécessaires à l'acte chirurgical, viennent rapidement limiter l'espace de travail déjà restreint de l'équipe d'anesthésie.

Dans le cadre du bloc opératoire, où l'attention et la rigueur de chaque intervenant sont un impératif pour la sécurité du patient, chaque nœud dans un câble est un risque d'erreur (21), d'accident ou de distraction, parfois dans des moments clés de la gestion d'une anesthésie.

Il est peu probable qu'un membre de l'équipe du bloc opératoire se blesse en trébuchant sur un cable ou un élément d'anesthésie, par contre il est plus probable que cela atteigne l'intégrité du patient, par extubation, déperfusion, étranglement ou encore que cela atteigne l'intégrité d'un matériel extrêmement coûteux. Il est évident que chaque mobilisation et manipulation augmente considérablement le risque de nœuds. Chaque intervention nécessitant le repositionnement des différents éléments constitue une perte de précieuses minutes, qui

augmentent de façon quasi exponentielle avec le nombre de dispositifs connectés au patient.

La répétition de ces gestes au fil des différentes interventions sur une journée peut s'avérer être une perte de temps considérable dans le fonctionnement d'un bloc opératoire, mais aussi une source de frustration pour les équipes prenant en charge le patient. Augmenter le nombre de câbles peut aussi augmenter le risque d'effets indésirables à type de micro-shock électrique ou de brûlure (22). Recourir aux dispositifs sans fil peut aussi avoir un intérêt en dehors des blocs opératoires, par exemple lors d'actes de radiologie sous anesthésie où la mobilité du patient et des machines peuvent se retrouver limitées par la longueur de certains câbles ou encore parasiter l'acquisition d'images. Limiter le nombre de connexions câblées d'un appareil vers un patient améliore probablement le niveau d'hygiène des dispositifs en évitant les contacts directs. Dans un environnement de plus en plus encombré et non extensible, il est nécessaire de s'affranchir du spaghetti syndrom (23) et de proposer un cadre de travail sécurisé et ergonomique.

B. Le niveau de sécurité est-il respecté ?

L'utilisation de moniteur sans fil passe invariablement par la transmission de données via des ondes électromagnétiques (24). Il est nécessaire que l'utilisation de ces ondes soit d'une extrême fiabilité pour éviter l'altération du recueil des données monitorées sur le patient. Mais il est également capital que ces ondes ne viennent pas parasiter avec de l'équipement porté par un patient ou déjà en place dans un bloc opératoire. L'altération ou la perte de données sans fil peuvent avoir des conséquences graves pour un patient.

Dans le contexte d'apparition de très nombreux dispositifs émettant des ondes électromagnétiques au quotidien, il semble légitime d'évaluer le risque encouru à l'exposition de telles ondes (25). Le spectre des ondes électromagnétiques est large. La qualification d'une onde est dépendante de sa longueur d'onde et donc de sa fréquence.

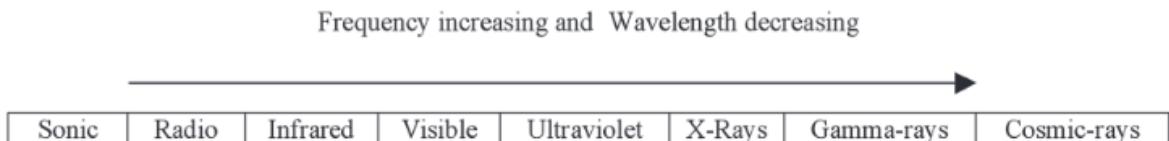


Figure 1 : Spectre des ondes électromagnétiques (24)

Deux spectres d'ondes électromagnétiques sont disponibles pour permettre une communication sans fil entre deux appareils, l'infrarouge (IR) et les ondes radio (OR). L'utilisation d'une onde infrarouge semble pouvoir se faire en sécurité (26) mais nécessite l'utilisation d'un émetteur associé à un récepteur qui doivent conserver une ligne de vue sans interposition, ce qui limite grandement leur intérêt d'utilisation.

L'utilisation d'OR se fait sur un spectre de 3 kHz à 3000 GhZ. La plupart de nos appareils sans fil du quotidien utilisent les OR pour transmettre des informations sans fil. Cela constitue un risque quant aux interférences pouvant survenir lors des échanges de données.

Suivant l'émergence des dispositifs sans fil utilisant des OR dans les années 2000, de nombreuses publications mettent en évidence les limites en termes de sécurité d'utilisation de tels dispositifs dans le milieu médical (27–29).

La régulation des OR par l'union internationale des télécommunications (ITU), permettant l'attribution de bandes de longueur d'ondes comme la bande industrielle, scientifique et médicale (ISM), ainsi que l'apparition de nouvelles technologies et de nouveaux matériaux permettrait d'éviter

les interférences électromagnétiques et par conséquent d'accroître le niveau de sécurité et de fiabilité des dispositifs.

C'est dans ce contexte que l'utilisation de la technologie bluetooth est de plus en plus importante pour les dispositifs médicaux sans fil tel que le WiTOF.

L'utilisation de données sans fil requiert également une attention quant au risque de piratage (30–32) des données informatiques ainsi qu'à la nécessité de sécurité des données et des dispositifs médicaux.

1. Fonctionnement de la technologie Bluetooth

La technologie Bluetooth est organisée en plusieurs couches.

Une couche radio permettant l'émission et la réception des OR, sur la bande de fréquence 2,4 GHz ISM (2400 - 2483.5 MHz soit 83,5 MHz). Ce spectre est utilisé dans le monde entier. La bande est divisée en canaux, permettant la transmission de données. Les données transitant entre les deux dispositifs utilisent le Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) qui consiste en la commutation entre plusieurs canaux de fréquence via un ordre aléatoire prédéfini et connu par l'émetteur et le récepteur. La période de saut de fréquence est de 625 µs, ce qui permet 1600 sauts par seconde.

Une couche bande de base permettant de gérer les adresses matérielles des périphériques, le type de connexion entre deux appareils permettant l'échange de paquets de données cryptées.

Le gestionnaire de liaison permet la gestion des différentes connexions, de l'appairage, de l'authentification des appareils et du chiffrement.

L'interface de contrôle de l'hôte permet d'accéder de façon uniforme aux couches matérielles.

La couche Logical Link Control & Adaptation Protocol (L2CAP) permet de gérer les protocoles de niveau supérieur, la segmentation et le

réassemblage des paquets de données ainsi que le transport des informations de qualité de service.

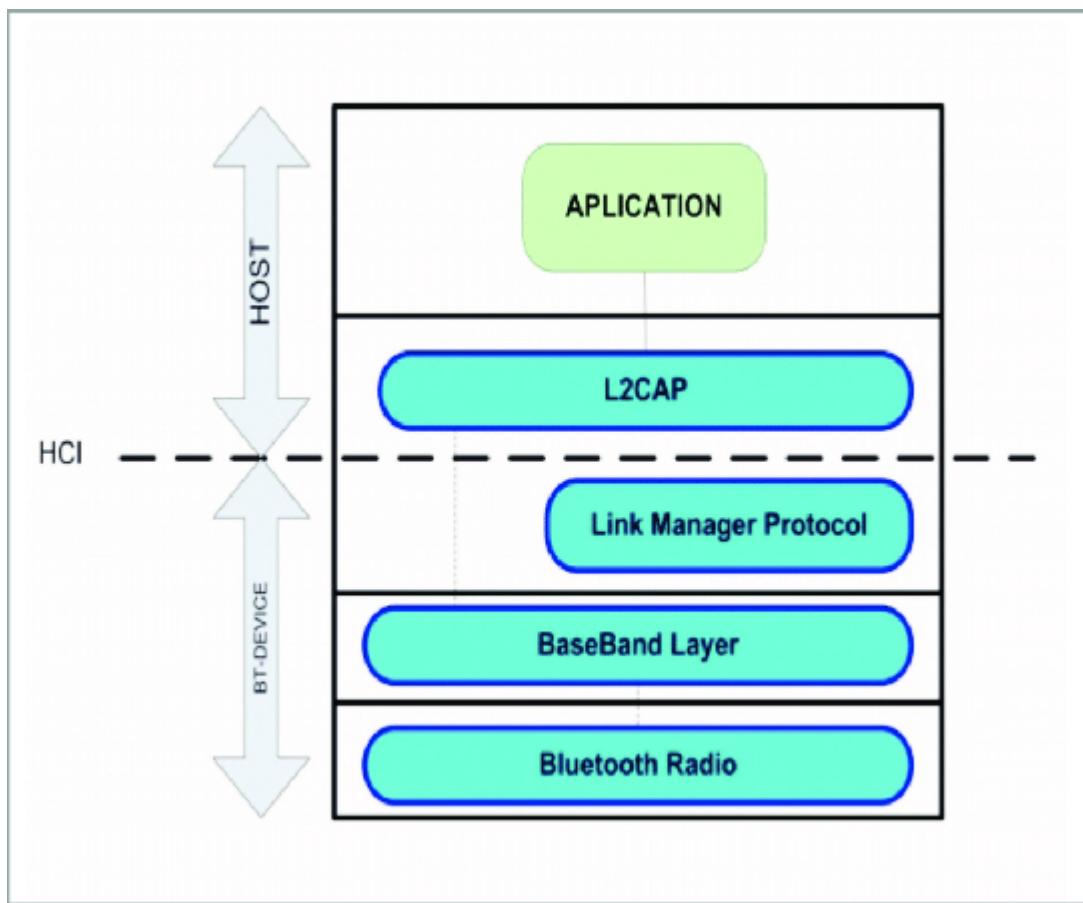


Figure 2 : Couches d'un dispositif Bluetooth (33)

La fiabilité du Bluetooth repose donc sur des petits paquets de données envoyés en plusieurs copies transitant rapidement à travers des canaux multiples changeant régulièrement et évitant les canaux saturés avec une confirmation de réception du paquet par le dispositif récepteur.

La sécurité du Bluetooth (34) passe par l'appairage des deux dispositifs en utilisant différentes clés, permettant une authentification entre les deux appareils et sur le chiffrement des données par des algorithmes de chiffrement.

C. Quelles sont les limites des dispositifs sans fil ?

L'arrivée de dispositifs sans fil n'est pas sans limite, outre celles déjà exposées sur l'utilisation d'ondes électromagnétiques, le renouvellement d'un matériel peut se révéler onéreux et entraîner un surcoût dans un contexte de tension financière constante. De plus, il semble plus risqué de perdre un des éléments, ceux-ci n'étant pas reliés par un câble.

En fonction du type d'ondes utilisées, la distance entre l'émetteur et le récepteur ainsi que les interfaces entre eux peuvent grandement limiter leur utilisation.

Ce nouveau type de matériel doit passer par de nombreuses certifications et régulations tant au niveau national qu'international pouvant limiter sa mise en œuvre face à des complexités administratives de plus en plus pressantes.

III. Matériaux et méthodes

A. Objectif et critère de jugement principal

1. Objectif principal

L'objectif principal de cette étude était d'évaluer le monitorage de la décurarisation à l'adducteur du pouce à l'aide d'un capteur sans fil (WiTOF) par rapport à la méthode de référence validée (TOFscan).

2. Critère de jugement principal

Le critère de jugement principal était la comparaison du délai d'apparition d'un rapport $T4/T1 > 90\%$ entre les deux moniteurs après injection unique ou multiple d'atracurium.

B. Objectifs et critères de jugement secondaires

1. Objectifs secondaires

Les objectifs secondaires de cette étude étaient :

- Comparer les performances des deux moniteurs pour le suivi des paramètres de curarisation.
- Établir l'existence ou non d'interférences liées à l'environnement chirurgical, limitant l'utilisation du capteur sans fil.

2. Critères de jugement secondaires

Les critères de jugement secondaires étaient :

- Comparer les valeurs des paramètres de curarisation (TOF, post-tetanic count [PTC], T4/T1R) entre les deux moniteurs après injection unique ou multiple d'atracurium.
- Évaluer le nombre et la durée des éventuelles interférences liées à l'environnement chirurgical limitant l'utilisation du capteur sans fil.

C. Population

1. Critères d'inclusion

Etaient inclus dans cette étude, tous les patients de 18 ans ou plus ayant bénéficié d'une chirurgie programmée avec injection unique ou multiple d'atracurium, ayant un score ASA I, II ou III, n'ayant pas de tutelle, curatelle ni subordination avec consentement donné par le patient après information claire et loyale sur l'étude.

2. Critères de non inclusion

Les patients inclus ne devaient avoir aucun des critères de non inclusion listés ci dessous :

- Chirurgie dont l'accès aux 2 bras était impossible simultanément,
- Chirurgie en urgence,
- Induction en séquence rapide,
- Utilisation d'un autre curare que l'atracurium,
- Présence d'une contre-indication connue à l'utilisation de l'atracurium,
- Patients porteurs de stimulateur cardiaque
- Critères d'intubation difficile décelés à la consultation d'anesthésie définit par un score d'Arné ≥ 11 ,
- Personnes ne bénéficiant pas d'un régime de Sécurité Sociale ou n'en bénéficiant pas par l'intermédiaire d'une tierce personne.
- Personnes bénéficiant d'une protection renforcée à savoir les femmes enceintes, qui allaitent, les personnes privées de liberté par une décision judiciaire ou administrative, les personnes séjournant dans un établissement sanitaire ou social, les majeurs sous protection légale et enfin les malades en situation d'urgence.

D. Déroulement de la recherche

1. Schéma de la recherche

Cette étude était une cohorte prospective comparative monocentrique, randomisée sans insu, en groupe parallèle de 40 patients dans chaque groupe.

Les inclusions ont eu lieu sur 3 mois et 11 jours entre le 9 mars 2022 et le 20 juin 2022.

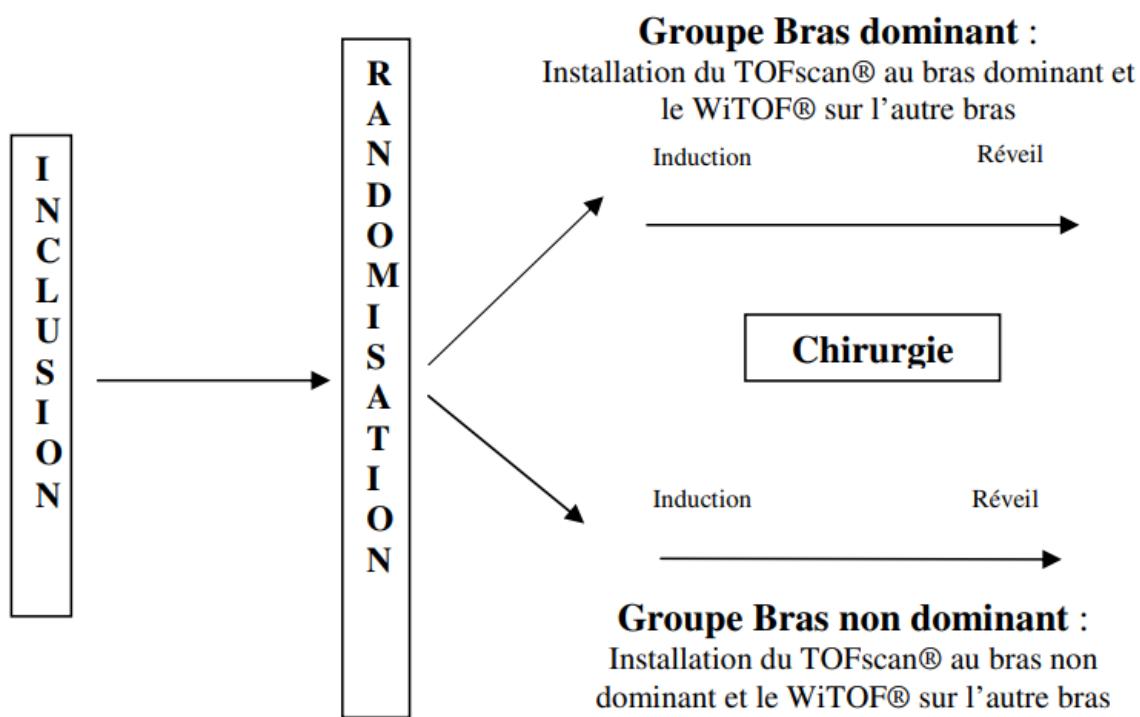


Figure 3 : Méthode de randomisation

Le côté choisi pour la mise en place des moniteurs était randomisé par informatique en fonction du bras dominant. La liste de randomisation était établie par un méthodologue indépendant de l'étude avant le début de la recherche.

Les effectifs des deux groupes étaient équilibrés selon un ratio 1:1 stratifié sur le bras dominant.

2. Protocole d'anesthésie

Induction

Les patients étaient pré-oxygénés pour obtenir une fraction expirée en oxygène supérieure à 85%.

L'induction était réalisée par injection intraveineuse de Sufentanil à 0,2 - 0,3 µg/kg de poids idéal, puis par Propofol à 2-3 mg/kg de poids réel.

Curarisation

Après l'injection du propofol et avant celle du curare, un TOF de référence était réalisé à 50 mA avec le TOFscan® et le WiTOF® (T4/T1R) puis le monitorage était réalisé sur les deux moniteurs.

La fréquence de répétition de la stimulation est de 15 secondes lors de l'analyse du TOF et de 5 minutes entre deux PTC. Ensuite l'atracurium était injecté à la posologie de 0,5 mg/kg de poids réel.

La mesure du brassard à tension était suspendue pendant 5 minutes pour s'assurer que la concentration plasmatique d'atracurium était identique dans chaque bras et la stimulation était débutée.

Entretien

L'entretien de l'anesthésie était réalisé par Desflurane. L'administration était adaptée à la concentration alvéolaire minimale de chaque patient. L'entretien de la curarisation était réalisé selon le type et la durée de la chirurgie par des bolus itératifs d'atracurium. L'ensemble des décisions (intubation, réinjections, extubation) était guidé par le moniteur de référence (TOFscan).

Décurarisation

A la fin de la procédure chirurgicale, en cas de curarisation résiduelle (4 réponses musculaires de l'adducteur du pouce à la stimulation en train de quatre étaient obtenues du côté TOF Scan avec un rapport T4/T1 < 90%), de la Prostigmine était injectée à la dose de 20 à 40 µg/kg de poids réel.

E. Relevé de données

1. Dispositifs médicaux

TOFScan

Curamètre filaire permettant la mesure de la curarisation et de la décurarisation des patients utilisant un accéléromètre tridimensionnel. Son installation était réalisée sur le bras défini par la randomisation. Les électrodes étaient placées sur le trajet du nerf ulnaire au poignet avec l'électrode négative en position distale. L'accéléromètre était positionné entre le pouce et l'index.



Figure 4 : TOFScan

WiTOF

Curamètre sans fil permettant la mesure de la curarisation et de la décurarisation des patients utilisant un accéléromètre tridimensionnel

directement relié à un capteur sans fil. Son capteur était positionné le long du trajet du nerf ulnaire et l'accéléromètre entre le pouce et l'index. La communication entre le capteur et le boîtier se fait par des ondes bluetooth.



Figure 5 : WiTOF

2. Monitorage

Le patient était installé en salle d'intervention où il était équipé des dispositifs de surveillance habituels : scope, brassard à tension, saturomètre ainsi que des deux moniteurs de curarisation : le moniteur conventionnel TOFscan et le dispositif WiTOF, installés selon son bras de randomisation.

F. Analyse statistique

1. Taille de l'étude

Le calcul de la taille de l'échantillon était basé sur le test t de Student bilatéral pour données appariées. En supposant une différence de 2 minutes (pertinence clinique) du délai moyen de récupération du bloc neuromusculaire ($T4/T1 > 90\%$) entre chaque site, avec un écart-type commun de 5 minutes, un risque de première espèce à 5% et une puissance de 85%, 113 patients étaient nécessaires pour chaque bras. Le patient étant son propre témoin, la variance inter-individuelle est divisée d'un facteur 4, le nombre de patients nécessaire était estimé à

80 patients pour prendre en compte d'éventuels problèmes techniques à l'origine de données manquantes.

2. Méthode statistique

Statistiques descriptives : Les variables quantitatives suivant une loi normale étaient décrites en moyenne et écart-type sinon elles étaient décrites en médiane avec les écarts interquartiles. Les variables qualitatives étaient décrites en effectif et pourcentage.

Le critère de jugement principal était exprimé en délai moyen (écart-type) et comparé par le test t de Student. La méthode graphique de Bland-Altman permettait de représenter le biais (différence moyenne des délais) et les limites de concordance (avec intervalle de confiance à 95%).

Critères secondaires et caractéristiques des patients : Le nombre d'interférences, leur durée, les caractéristiques des patients, les caractéristiques péri-opératoires étaient exprimées en minutes, en nombre (%), médiane (écart interquartile) ou moyenne \pm écarts types.

Ces critères secondaires étaient comparés à l'aide du test t de Student pour données appariées ou un test non paramétrique le cas échéant. Les différences de moyennes et leurs intervalles de confiance à 95 % étaient déterminés.

Seuil de significativité : Le critère de rejet de l'hypothèse nulle est $p < 0,05$ pour toutes les comparaisons (risque de première espèce).

Analyse intermédiaire : Aucune analyse intermédiaire n'était prévue.

Traitements des données manquantes : Il n'était pas prévu de remplacement statistique des données manquantes.

IV. Résultats

A. Caractéristiques de la population

1. Données démographiques

Quatre-vingt patients ont été inclus entre Mars 2022 et Juin 2022. Deux patients ont été exclus de l'analyse, l'un pour modification du curare à l'induction, le second pour défaut d'accès à un bras en salle d'intervention.

Soixante dix huit patients majeurs, ASA I à III, admis pour une chirurgie programmée sous anesthésie générale avec injection unique ou multiple d'atracurium, pour lesquels les deux bras étaient disponibles pendant la chirurgie ont été analysés.

Le tableau 1 présente les caractéristiques démographiques des patients.

Tableau 1 : Données démographiques des patients

Caractéristiques	
Âge (années ± DS)	62± 17
Homme (n (%))	37 (46)
Femme (n (%))	43 (54)
Taille (cm)	167 ± 21
Poids (Kg)	78 ± 19
IMC (Kg/m ²)	28 ± 5
Obésité (n (%))	25 (31)
Droitiers (n (%))	76 (95)
Gauchers (n (%))	4 (5)
<hr/>	
ASA	
I (n (%))	17 (21)
II (n (%))	40 (50)
III (n (%))	23 (29)
<hr/>	
Antécédents	
Diabète insulino-requérant (n (%))	6 (8)
Pathologie neuro-musculaire (n (%))	2 (3)
Insuffisance rénale chronique (DFG < 30mL/min/1,73m ²) (n (%))	0 (0)
<hr/>	
Type de chirurgie	
Orthopédie/Rachis (n (%))	39 (49)
Plastique (n (%))	6 (8)
Viscérale (n (%))	13 (16)
Urologique (n (%))	21 (26)

DFG : Débit de filtration glomérulaire ; IMC : Index de masse corporelle

2. Données per-opératoires chirurgicales et anesthésiques

Les patients ont été recrutés dans quatre spécialités chirurgicales différentes: orthopédie-rachis, plastique, viscérale et urologique. Les durées médianes du bloc opératoire, de la chirurgie ainsi que de l'anesthésie sont présentées dans le tableau 2. Un défaut de recueil de données est à noter pour la durée de bloc opératoire de trois patients ainsi que pour la durée de chirurgie de huit patients.

Tableau 2 : Données de bloc opératoire

Durée du bloc opératoire (min)	107 [89-148]
Durée de chirurgie (min)	55 [44-78]
Durée d'anesthésie (min)	99 [85-137]
Température à l'induction (°C)	36,7 ± 0,4
Température au réveil (°C)	36,5 ± 0,5
Posologie d'atracurium (mg)	32 ± 6

Induction

Pour les données liées à l'induction anesthésique, tous les patients ont reçu du propofol avec une posologie moyenne de 179 ± 63 mg. Soixante dix huit ont reçu du sufentanil avec une posologie moyenne de 16 ± 10 µg, deux du rémifentanil. Soixante dix huit ont reçu au moins une dose d'atracurium avec une posologie moyenne de 32 mg ± 6 mg et 22 ont eu une réinjection unique ou multiple selon les besoins de l'acte chirurgical.

Type de décurarisation

La décurarisation des patients était soit spontanée, soit pharmacologique. Pour les décurarisations pharmacologiques, une injection de néostigmine associée à de l'atropine était réalisée, comme développé dans le tableau 3.

Tableau 3 : Données de décurarisation

Spontanée (n (%))	35 (45)
Bras dominant (n (%))	15 (19)
Bras non dominant (n (%))	20 (26)
<hr/>	
Pharmacologique (n (%))	43 (55)
Bras dominant (n (%))	25 (32)
Bras non dominant (n (%))	18 (23)
<hr/>	
Néostigmine (mg)	2,6 ± 0,7
Atropine (mg)	0,7 ± 0,3

B. Critère de jugement principal : T4/T1 > 90%

Il n'existe pas de différence significative dans la récupération d'un T4/T1 > 90% entre le groupe WiTOF et le groupe TOFScan avec un délai médian de 67 [59-80] minutes pour les deux groupes ($p = 0,99$).

Tableau 4 : Etude de la décurarisation

	WiTOF	TOFScan	p
Délai de réapparition de TOF = 1/4 (min) (n = 67 / 75)	30 [22-45]	37 [25-47]	0,22
Délai de réapparition de TOF = 4/4 (min) (n= 77 / 77)	46 [35-58]	51 [39-60]	0,046
Délai de réapparition de T4/T1 > 90% (min) (n= 78/78)	67 [59-80]	67 [59-80]	0,99

TOF : Train-de-quatre

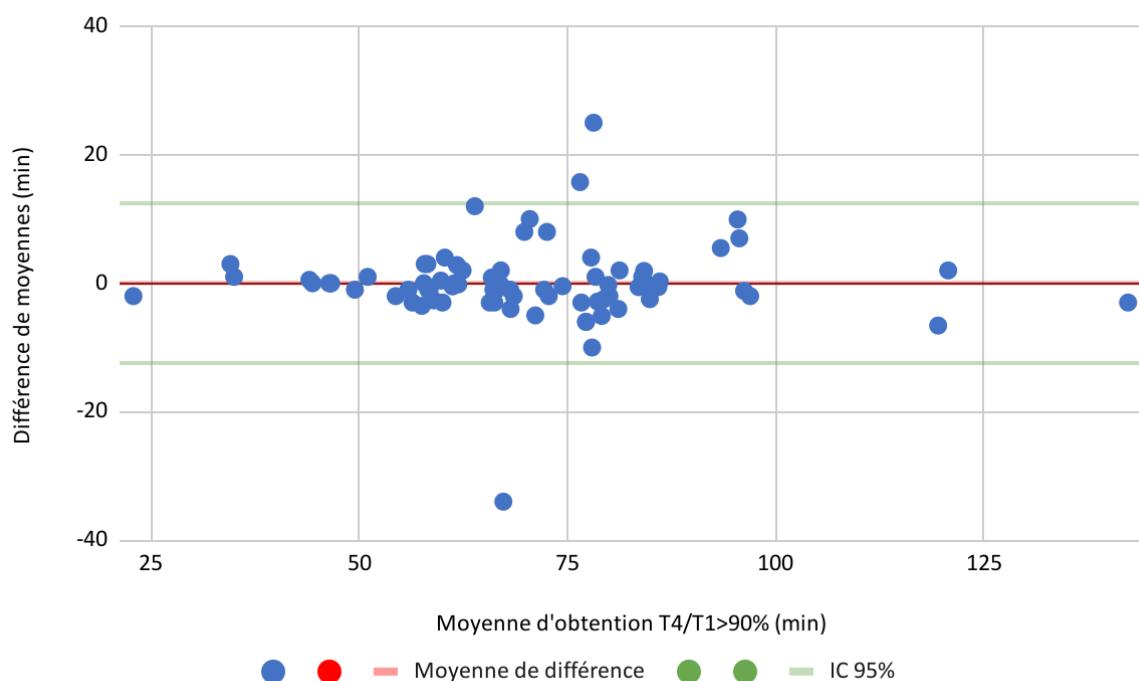


Figure 6 : Méthode de Bland et Altman comparant la moyenne d'obtention d'un T4/T1 > 90 % à la différence de moyennes

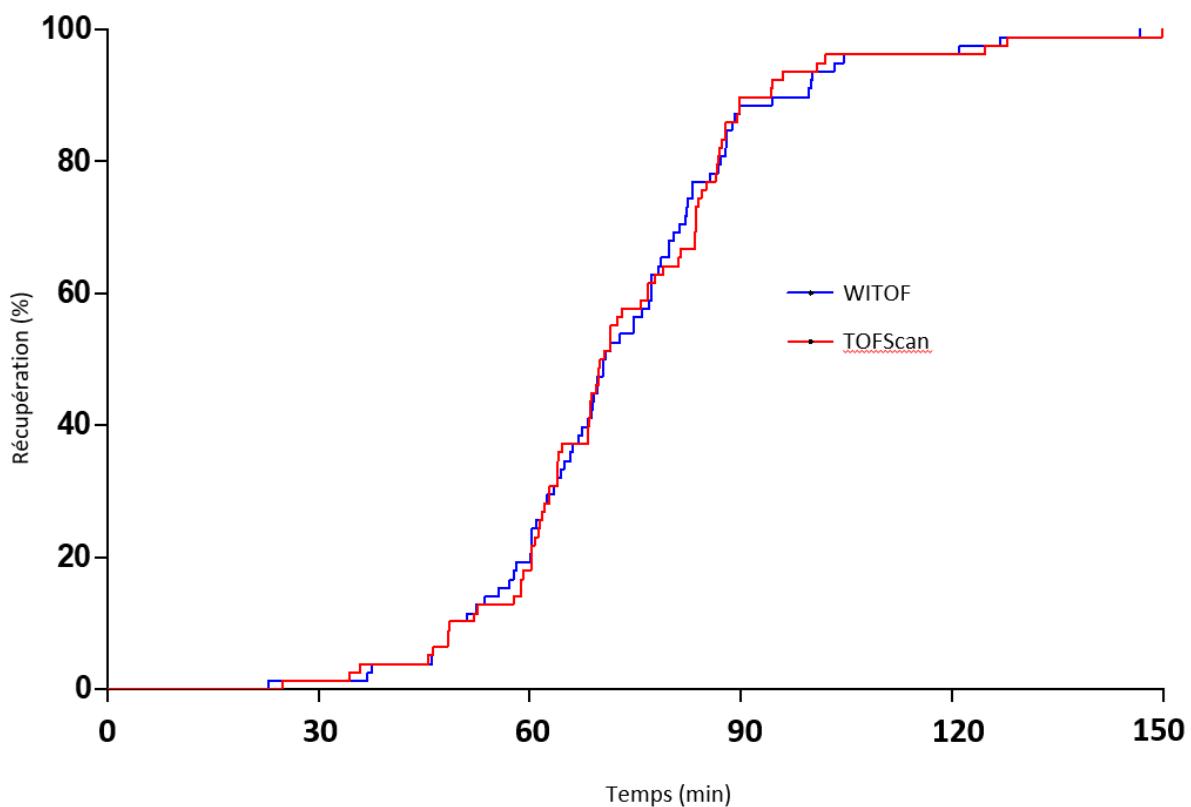


Figure 7 : Courbe de récupération T4/T1 > 90% en fonction du temps

C. Critères de jugement secondaire

1. Curarisation

Il existe une différence significative sur le délai médian pour atteindre un TOF = 0 entre le WiTOF et le TOFScan avec respectivement, 8 [5-11] minutes contre 5 [3-8] minutes ($p = 0,004$).

A noter que dans le groupe WiTOF, 9 patients n'ont pas atteint un TOF = 0 contre 5 dans le groupe TOFScan.

La différence entre les PTC des deux moniteurs, après l'injection initiale d'atracurium, n'est pas significative comme exposée dans le tableau 4.

Tableau 5 : Données de curarisation

	WiTOF	TOFScan	p
Délai médian TOF = 0 (min)	8 [5-11]	5 [3-8]	p = 0,004
PTC à TOF = 0 (/10)	10 [8-10]	10 [9-10]	p = 0,56
PTC à TOF = 0 + 20 min (/10)	6 [0-9]	2 [0-8]	p = 0,16
PTC à TOF = 0 + 40 min (/10)	5 [2-9]	2 [1-9]	p = 0,54

TOF : Train-de-quatre ; PTC : Post-tetanic count

2. Décurarisation

TOF = 1

Il n'existe pas de différence significative à l'obtention du TOF = 1 entre le WiTOF et le TOFScan qui sont respectivement à 30 [22-45] minutes contre 37 [25-47] minutes (p = 0,22).

Dans le groupe WiTOF, 13 patients ne sont pas passés par un TOF = 1 ou n'ont pas eu leurs données relevées contre 5 dans le groupe TOFScan.

TOF = 4/4

Il existe une différence significative à l'obtention du TOF = 4 entre le WiTOF et le TOFScan qui sont respectivement à 46 [35-58] minutes contre 51 [39-50] minutes (p = 0,046).

Les deux groupes étaient composés de 77 patients.

Equipement en salle et interférences

Tableau 6 : Équipement en salle

Téléphone mobile	77 (99 %)
Commande de table sans fil	76 (97 %)
Équipement bluetooth en salle	0 (0 %)
DECT	78 (100 %)
Équipement WiFi en salle	9 (12 %)
Équipement infra-rouge	0 (0 %)
Bistouri électrique	76 (97 %)
Caméra chirurgicale	30 (38 %)
Colonne de coelioscopie	29 (37 %)

DECT : Digital Enhanced Cordless Telecommunications

Il existe une perte de signal dans chaque groupe, l'une de 5 minutes dans le groupe WiTOF et l'autre de 50 minutes dans le groupe TOFScan.

De façon significative, il y a plus d'échecs de mesure dans le groupe WiTOF avec une médiane de 4 [3-8] échecs de mesure contre 3 [2-4] dans le groupe TOFScan ($p < 0,05$), la durée médiane d'échec de mesure revient significative entre les deux groupes avec 2 [1-3] minutes dans le groupe WiTOF contre 1 [1-1] minute dans le groupe TOFScan ($p < 0,05$).

Il n'existe pas de différence significative entre le nombre moyen de déconnexions imprévues avec 1 [1-1] déconnexion dans le groupe WiTOF contre 0 [0-0] dans le groupe TOFScan ($p = 0,26$).

Il n'existe pas de différence significative sur la durée médiane des déconnexions imprévues avec 4 [2-5] minutes pour le WiTOF contre 6 [3-6] minutes pour le TOFScan ($p=0,64$).

Tableau 7 : Données d'interférence

	WiTOF	TOFScan	p
Perte de signal (min)	5	50	
Médiane d'échecs de mesure	4 [3-8]	3 [2-4]	p < 0,05
Durée médiane d'échec de mesure (min)	2 [1-3]	1 [1-1]	p < 0,05
Nombre moyen de déconnexions non prévues	1 [1-1]	0 [0-0]	p = 0,26
Durées médiane de déconnexions non prévues (min)	4 [2-5]	3 [3-6]	p = 0,64
Problème de synchronisation d'appareils (n=1) (n=0)	1	0	
Temps lié au problème de synchronisation d'appareils (min)	5	0	

V. Discussion

Les technologies sans fil sont désormais d'utilisation courante. L'étude WiTOF a permis de comparer un moniteur de curarisation sans fil avec un moniteur filaire de référence actuellement utilisé dans les blocs opératoires.

Dans cette étude, il n'est pas retrouvé de différence significative sur le critère de jugement principal qui était le délai d'apparition du rapport $T4/T1 > 90\%$, indifféremment de la méthode de décurarisation utilisée.

Actuellement, il n'existe pas de recommandation quant au monitorage de l'installation du bloc neuro-musculaire (2).

L'analyse des données de curarisation retrouve néanmoins une différence entre les deux moniteurs. Le TOF égal à 0 est obtenu à 5 [3-8] minutes avec le TOFScan contre 8 [5-11] minutes avec le WiTOF ($p = 0,04$). Il faut remarquer que 9 patients du groupe WiTOF n'ont pas atteint un TOF égal à 0 malgré des réglages d'appareils strictement identiques. Ces données pourraient s'expliquer par une plus grande sensibilité du WiTOF pour détecter les mouvements. La variabilité de précision des mesures réalisées avant la curarisation d'un patient est déjà évoquée dans la littérature (35) avec une variabilité allant jusqu'à presque 19% au TOF sans qu'une calibration initiale ne soit réalisée.

De même, la mise à jour du logiciel du moniteur ainsi qu'une installation de la main standardisée dans un adaptateur permettent l'amélioration de la précision des mesures de près de 6% au train de quatre (36).

Les RFE françaises (2) recommandent le monitorage per-opératoire et, notamment, l'utilisation du PTC pour le suivi d'une curarisation profonde. Ce suivi permet l'amélioration des conditions chirurgicales pour les

chirurgies abdominales profondes (37–39) mais aussi pour certaines chirurgies de précision (40). Le bloc neuromusculaire profond permet également la diminution des douleurs post opératoires par réduction de la pression utilisée pour créer le pneumopéritoine (41).

Dans notre étude, les données de suivi de curarisation profonde par le PTC, ne retrouvent pas de différence significative entre les deux groupes. Il faut néanmoins noter une diminution du nombre de patients dans les groupes TOF= 0 + 20 minutes et TOF = 0 + 40 minutes, les patients manquants étant repassés à TOF $\geq 1/4$.

L'analyse des paramètres de décurarisation ne retrouve pas de différence significative sur le délai de retour à TOF = 1.

Par contre, il est retrouvé une différence significative sur le retour à TOF = 4 en faveur du moniteur WiTOF. Un capteur plus sensible sur le moniteur WiTOF pourrait également expliquer cette différence. Le résultat TOF égal à 4 n'a pas d'intérêt clinique, la valeur seuil pour procéder à une décurarisation pharmacologique est fixée à TOF > 20% (2).

Dans les critères de jugement secondaire, il existe deux pertes de signal, l'une de 5 minutes dans le groupe WiTOF à cause d'un défaut de synchronisation entre la base et le capteur, l'autre de 50 minutes dans le groupe TOFScan à cause d'un câble défectueux.

Le nombre d'échecs de mesure liés à des mesures erronées est supérieur dans le groupe WiTOF, avec un analyse statistique revenant significative. Cela oriente également vers un capteur ayant une plus grande sensibilité.

En conséquence la durée liée aux échecs de mesure est plus importante dans le groupe WiTOF avec des mesures qui n'ont pas d'intérêt pour le suivi de la curarisation. Les différences observées lors de la décurarisation ainsi que dans le nombre d'échecs de mesure pourraient s'expliquer par des différences au niveau logiciel (36), les accéléromètres tridimensionnels étant identiques selon le constructeur.

Il n'y a pas de différence sur le nombre de déconnexions non prévues dans les deux groupes, celles-ci étant majoritairement liées à des changements de position des patients pour réaliser la chirurgie.

Il n'est pas retrouvé de problèmes liés à la technologie sans fil. En effet, la technologie Bluetooth semble être robuste quant au risque minime de perte de données entre le capteur et sa base. La problématique du piratage des ondes transitant entre le capteur et sa base semble peu réalisable du fait de la nécessité de synchronisation des dispositifs et de l'encodage des données transmises sur des canaux multiples (34).

En ce qui concerne la fiabilité des données transmises sans fil, celles-ci semblent être de qualité car il n'est pas retrouvé de différence significative sur le critère de jugement principal, critère qui permet la prise de décision en pratique clinique.

Selon l'organisation mondiale de la santé, l'utilisation d'OEM semble pouvoir se faire sans risque supplémentaire sur la santé du patient (25).

Une des limites concernant l'utilisation d'un tel matériel réside dans son coût car le changement des dispositifs actuels pour un nouveau moniteur sans fil passe par une dépense budgétaire non négligeable. Il est également à noter que l'utilisation de sans fil pourrait favoriser la perte des boîtiers, ceux-ci pouvant rester en place par inadvertance sur le bras du patient lors de sa sortie du bloc opératoire.

VI. Conclusion

Montrer l'action des curares fait partie des bonnes pratiques exigées lors d'une anesthésie générale.

Réaliser ce monitorage passe par l'utilisation de capteurs spécifiques dont les évolutions technologiques permettent de s'affranchir de l'utilisation de câbles et peuvent nettement améliorer l'ergonomie de la station d'anesthésie.

Le WiTOF évalué dans cette étude permet l'obtention de résultats, ayant une pertinence clinique, équivalents à ceux du TOFscan actuellement référence dans le monitorage per-opératoire.

La technologie Bluetooth utilisée pour cet appareil semble correspondre à l'ensemble des niveaux d'exigence de sécurité nécessaire dans le monitorage des curares lors d'une anesthésie générale.

En conséquence, ce nouveau type de moniteur semble être intéressant à envisager lors du remplacement des appareils déjà existants.

VII. Bibliographie

1. Fuchs-Buder T, Romero CS, Lewald H, Lamperti M, Afshari A, Hristovska AM, et al. Peri-operative management of neuromuscular blockade: A guideline from the European Society of Anaesthesiology and Intensive Care. *Eur J Anaesthesiol.* 2023;40(2):82-94.
2. Baillard C, Bourgain JL, Bouroche G, Debaene B, Desplanque L, Devys JM, et al. Société Française d'Anesthésie et de Réanimation.
3. Murphy GS, Szokol JW, Avram MJ, Greenberg SB, Shear T, Vender JS, et al. Postoperative Residual Neuromuscular Blockade Is Associated with Impaired Clinical Recovery. *2013;117(1):9.*
4. Berg H, Roed J, Viby-Mogensen J, Mortensen CR, Engbaek J, Skovgaard LT, et al. Residual neuromuscular block is a risk factor for postoperative pulmonary complications. A prospective, randomised, and blinded study of postoperative pulmonary complications after atracurium, vecuronium and pancuronium. *Acta Anaesthesiol Scand.* 1997;41(9):1095-103.
5. Kirmeier E, Eriksson LI, Lewald H, Jonsson Fagerlund M, Hoeft A, Hollmann M, et al. Post-anaesthesia pulmonary complications after use of muscle relaxants (POPULAR): a multicentre, prospective observational study. *Lancet Respir Med.* 2019;7(2):129-40.
6. Griffith HR, Johnson GE. The use of curare in general anesthesia. *Anesthesiol J Am Soc Anesthesiol.* 1942;3(4):418-20.
7. Beecher HK, Todd DP. A study of the deaths associated with anesthesia and surgery: *Ann Surg.* 1954;140(1):2-33.
8. Murphy GS, Brull SJ. Quantitative Neuromuscular Monitoring and Postoperative Outcomes: A Narrative Review. *Anesthesiology.* 2022;136(2):345-61.
9. Eriksson LI, Sundman E, Olsson R, Nilsson L, Witt H, Ekberg O, et al. Functional assessment of the pharynx at rest and during swallowing in partially paralyzed humans: simultaneous videomanometry and mechanomyography of awake human volunteers. *Anesthesiology.* 1997;87(5):1035-43.
10. Eikermann M, Vogt FM, Herbstreit F, Vahid-Dastgerdi M, Zenge MO, Ochterbeck C. The Predisposition to Inspiratory Upper Airway

- Collapse during Partial Neuromuscular Blockade. 2007;175:7.
11. Murphy GS, Szokol JW, Marymont JH, Greenberg SB, Avram MJ, Vender JS. Residual Neuromuscular Blockade and Critical Respiratory Events in the Postanesthesia Care Unit. *Anesth Analg*. 2008;107(1):130-7.
 12. Grosse-Sundrup M, Henneman JP, Sandberg WS, Bateman BT, Uribe JV, Nguyen NT, et al. Intermediate acting non-depolarizing neuromuscular blocking agents and risk of postoperative respiratory complications: prospective propensity score matched cohort study. *BMJ*. 2012;345:e6329-e6329.
 13. Butterly A, Bittner EA, George E, Sandberg WS, Eikermann M, Schmidt U. Postoperative residual curarization from intermediate-acting neuromuscular blocking agents delays recovery room discharge † †Coupling Muscle and Nerve 2009—XI. International Expert Meeting on Neuromuscular Physiology and Pharmacology, 2009, Munich, Germany. Published in *BJA* sept 2010;105(3):304-9.
 14. Ledowski T, Falke L, Johnston F, Gillies E, Greenaway M, Mel AD, et al. Retrospective investigation of postoperative outcome after reversal of residual neuromuscular blockade. *Eur J Anaesthesiol* 2014; 31:423–429. :7.
 15. Baillard C, Clec'h C, Catineau J, Salhi F, Gehan G, Cupa M, et al. Postoperative residual neuromuscular block: a survey of management. *BJA*. 2005;95(5):622-6.
 16. Capron F, Fortier LP, Racine S, Donati F. Tactile Fade Detection with Hand or Wrist Stimulation Using Train-of-Four, Double-Burst Stimulation, 50-Hertz Tetanus, 100-Hertz Tetanus, and Acceleromyography. *Anesth Analg*. 2006;102:1578–84 :7.
 17. Suzuki T, Fukano N, Kitajima O, Saeki S, Ogawa S. Normalization of acceleromyographic train-of-four ratio by baseline value for detecting residual neuromuscular block. *BJAnaesth*. 2006;96(1):44-7.
 18. Klein AA, Meek T, Allcock E, Cook TM, Mincher N, Morris C, et al. Recommendations for standards of monitoring during anaesthesia and recovery 2021: Guideline from the Association of Anaesthetists. *Anaesthesia*. 2021;76(9):1212-23.
 19. Dobson G, Chow L, Filteau L, Flexman A, Hurdle H, Kurrek M, et al. Guidelines to the Practice of Anesthesia – Revised Edition 2020. Can

- J Anesth Can Anesth. 2020;67(1):64-99.
20. Australian and New Zealand College of Anesthetists - Guidelines on monitoring during anesthesia. PG18. Anesthesia monitoring 2017.
21. Hofer I, Cannesson M. Is Wireless the Future of Monitoring? Anesth Analg. 2016;122(2):305-6.
22. Litt L, Ehrenwerth J. Electrical Safety in the Operating Room: Important Old Wine, Disguised New Bottles. International Anesthesia Research Society 0003-2999. 1994.
23. Imhoff M. The Spaghetti Syndrome Revisited: Anesth Analg. mars 2004;566-8.
24. Boyle J. Wireless Technologies and Patient Safety in Hospitals. Telemed E-Health. 2006;12(3):373-82.
25. World Health organization - Radiation and health - Electromagnetic fields. 2016.
26. Hagiwira S, Takashina M, Mori T, Taenaka N, Mashimo T. Infrared Transmission of Electronic Information via LAN in the Operating Room. Journal of Clinical Monitoring and Computing 16: 171-175, 2000.
27. Tri JL, Severson RP, Firl AR, Hayes DL, Abenstein JP. Cellular Telephone Interference With Medical Equipment. Mayo Clin Proc. 2005;80(10):1286-90.
28. Hekmat K. Interference by cellular phones with permanent implanted pacemakers: an update. Europace. 2004;6(4):363-9.
29. Shaw CI, Kacmarek RM, Hampton RL, Riggi V, Masry AE, Cooper JB, et al. Cellular phone interference with the operation of mechanical ventilators: Crit Care Med. 2004;32(4):928-31.
30. Markosian C, Taruvai VS, Mammis A. Neuromodulatory hacking: a review of the technology and security risks of spinal cord stimulation. Acta Neurochir. 2020;162(12):3213-9.
31. Marin E, Singelée D, Yang B, Volski V, Vandenbosch GAE, Nuttin B, et al. Securing Wireless Neurostimulators. Proceedings of the Eighth ACM Conference on Data and Application Security and Privacy. 2018 ; 287–298
32. Pycroft L, Boccard SG, Owen SLF, Stein JF, Fitzgerald JJ, Green AL, et al. Brainjacking: Implant Security Issues in Invasive

- Neuromodulation. World Neurosurg. 2016;92:454-62.
- 33.Latha L, Vettrivelan P. Wireless Body Area Network - Based Telemedicine for Emergency Care. Sensors. 2020;20(7):2153.
- 34.Saltzstein W. Bluetooth Wireless Technology Cybersecurity and Diabetes Technology Devices. J Diabetes Sci Technol. 2020;14(6):1111-5.
- 35.Stouffs A, Ibsen A, Jamart J, Dubois V, Dubois PE. Philips Intellivue NMT module: variability of initial measurements. J Clin Monit Comput. 2018;32(5):965-6.
- 36.Dubois V, Fostier G, Dutrieux M, Jamart J, Collet S, de Dorlodot C, et al. Philips Intellivue NMT module: precision and performance improvements to meet the clinical requirements of neuromuscular block management. J Clin Monit Comput. 2020;34(1):111-6.
- 37.Madsen MV, Staehr-Rye AK, Gätke MR, Claudius C. Neuromuscular blockade for optimising surgical conditions during abdominal and gynaecological surgery: a systematic review. Acta Anaesthesiol Scand. 2015;59(1):1-16.
- 38.Martini CH, Boon M, Bevers RF, Aarts LP, Dahan A. Evaluation of surgical conditions during laparoscopic surgery in patients with moderate vs deep neuromuscular block. BJA. 2014;112(3):498-505.
- 39.Fuchs-Buder T, De Robertis E, Brunaud L. Neuromuscular block in laparoscopic surgery. Minerva Anestesiol 2018 ; 84(4).
- 40.Kim HJ, Lee K, Park WK, Lee BR, Joo HM, Koh YW, et al. Deep neuromuscular block improves the surgical conditions for laryngeal microsurgery. BJA. 2015;115(6):867-72.
- 41.Madsen MV, Istre O, Staehr-Rye AK, Springborg HH, Rosenberg J, Lund J, et al. Postoperative shoulder pain after laparoscopic hysterectomy with deep neuromuscular blockade and low-pressure pneumoperitoneum: A randomised controlled trial. Eur J Anaesthesiol. 2016;33(5):341-7.



Université de Poitiers

Faculté de Médecine et de Pharmacie

SERMENT

En présence des Maîtres de cette école, de mes chers condisciples et devant l'effigie d'Hippocrate, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine. Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail. Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime. Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ! Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque !

Résumé

Introduction :

Le monitorage de la curarisation est indispensable pour limiter les complications post-opératoires mais sa réalisation peut être limitée par l'accessibilité des bras au cours de la chirurgie.

L'apparition de moniteurs sans fil pourrait faciliter le monitorage per-opératoire mais ce nouveau matériel doit correspondre aux attentes de fiabilité et de robustesse des dispositifs faisant référence.

L'objectif de l'étude WiTOF était de comparer le délai de retour à $T4/T1 > 90\%$ après injection unique ou multiple d'atracurium entre un moniteur sans fil et un moniteur standard.

Matériel et méthodes :

Dans cette étude prospective, monocentrique randomisée conduite au CHU de Poitiers, des patients de 18 ans ou plus devant bénéficier d'une chirurgie programmée avec injection unique ou multiple d'atracurium ont été inclus.

Les paramètres de curarisation et de décurarisation étaient recueillis aux deux bras après injection d'atracurium, le premier bras avec le moniteur sans fil WiTOF, le second avec le moniteur filaire TOFScan.

La décurarisation pouvait être spontanée ou pharmacologique.

Le critère de jugement principal était le délai médian de retour à $T4/T1 > 90\%$.

Les critères de jugement secondaire étaient les délais médians (ou moyen) d'atteinte des autres paramètres de curarisation (TOF, PTC, T4/T1R) ainsi que le nombre et la durée des interférences liées à l'environnement du bloc opératoire.

Résultats :

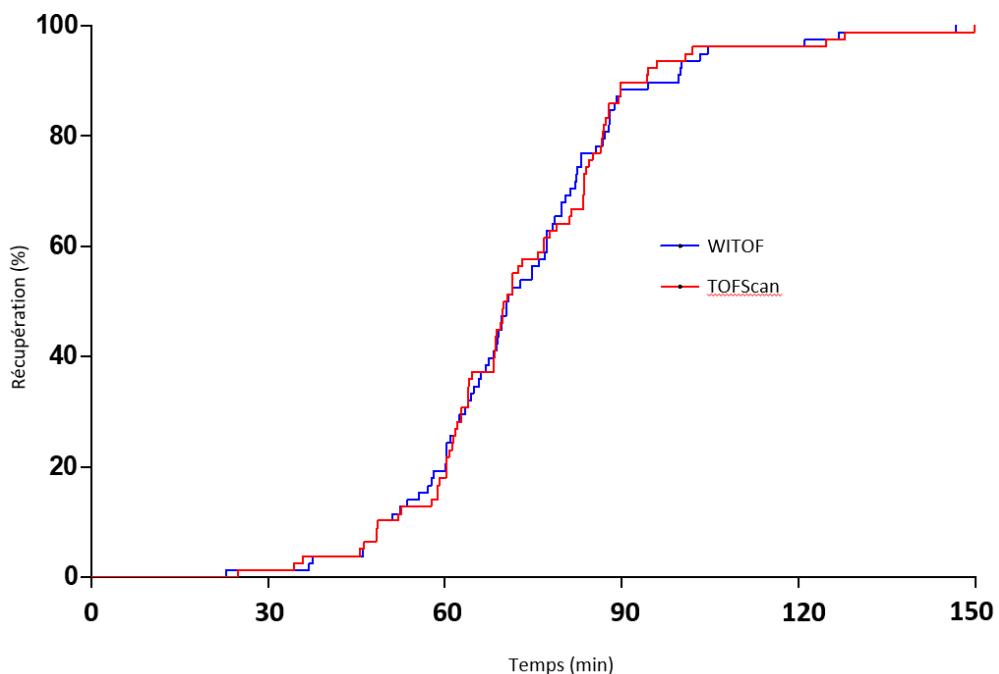
Entre mars et juin 2022, 80 patients ont été inclus et 78 patients analysés. Le $T4/T1 > 90\%$ médian était obtenu à 67 [59-80] minutes ($p= 0,99$) pour les deux moniteurs.

Il est retrouvé une différence significative sur les critères de jugement secondaire sur le délais pour atteindre TOF = 0, avec 8 [5-11] minutes pour le

WiTOF contre 5 [3-8] minutes pour le TOFScan ($p = 0,004$) et du retour à TOF = 4/4 avec 46 [35-58] minutes pour le WiTOF contre 51 [39-60] minutes pour le TOFScan ($p = 0,46$).

Il était retrouvé un nombre médian plus important d'échecs de mesure pour le WiTOF avec 4 [3-8] contre 3 [2-4] pour le TOFScan ($p < 0,05$) ainsi qu'un nombre plus important de la durée associée aux échecs de mesure avec 2 [1-3] minutes pour le WiTOF contre 1 [1-1] minutes pour le TOFSCan ($p < 0,05$).

Figure : Courbe de récupération T4/T1 > 90% en fonction du temps



Conclusion :

L'étude WiTOF ne trouvait pas de différence significative sur l'obtention du T4/T1 > 90% entre le moniteur filaire et le moniteur sans fil. Les différences retrouvées sur l'analyse des critères de jugement secondaire pourraient s'expliquer par une sensibilité plus importante du capteur du WiTOF.