

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD – LYON 1

FACULTE DE MEDECINE LYON EST

Année : 2015

N° :

**COMPARAISON DE DEUX DISPOSITIFS DE
COMPRESSION ILIO-FEMORALE UTILISES
EN MEDECINE DE GUERRE**

Combat Ready Clamp ® vs *SAM Junctional Tourniquet* ®

A propos d'une étude clinique prospective portant sur 84 volontaires sains

THESE

Présentée

à l'Université Claude Bernard Lyon 1

et soutenue publiquement le 5 mai 2015

pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

Par

Jean-Guillaume MEUSNIER

Elève de l'Ecole du Val-de-Grâce de Paris

Ancien élève des Ecoles du Service de Santé des Armées de Bordeaux et de Lyon-Bron

Né le 14 mai 1988 à Bordeaux (33)

ÉCOLE DU VAL DE GRÂCE

A Monsieur le médecin général inspecteur François PONS

Directeur de l'École du Val-de-Grâce

Professeur agrégé du Val-de-Grâce

Officier de la Légion d'honneur

Commandeur de l'Ordre National du Mérite

A Monsieur le médecin général Jean-Bertrand NOTTET

Directeur adjoint de l'École du Val-de-Grâce

Professeur agrégé du Val-de-Grâce

Chevalier de la Légion d'honneur

Officier de l'Ordre National du Mérite

Chevalier des Palmes académiques

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD – LYON 1

. Président de l'Université François-Noël GILLY

. Président du Comité de Coordination des Etudes Médicales François-Noël GILLY

. Secrétaire Général Alain HELLEU

SECTEUR SANTE

UFR DE MEDECINE LYON EST Doyen : Jérôme ETIENNE

UFR DE MEDECINE
LYON SUD – CHARLES MERIEUX Doyen : Carole BURILLON

INSTITUT DES SCIENCES PHARMACEUTIQUES
ET BIOLOGIQUES (ISPB) Directrice: Christine VINCIGUERRA

UFR D'ODONTOLOGIE Directeur : Denis BOURGEOIS

INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE
READAPTATION Directeur : Yves MATILLON

DEPARTEMENT DE FORMATION ET CENTRE
DE RECHERCHE EN BIOLOGIE HUMAINE Directeur : Pierre FARGE

SECTEUR SCIENCES ET TECHNOLOGIES

UFR DE SCIENCES ET TECHNOLOGIES Directeur : Fabien de MARCHI

UFR DE SCIENCES ET TECHNIQUES DES
ACTIVITES PHYSIQUES ET SPORTIVES (STAPS) Directeur : Claude COLLIGNON

POLYTECH LYON Directeur : Pascal FOURNIER

I.U.T. Directeur : Christian COULET

INSTITUT DES SCIENCES FINANCIERES
ET ASSURANCES (ISFA) Directeur : Véronique MAUME-DESCHAMPS

I.U.F.M. Directeur : Régis BERNARD

CPE Directeur : Gérard PIGNAULT

Faculté de Médecine Lyon Est

Liste des enseignants 2014/2015

Professeurs des Universités – Praticiens Hospitaliers

Classe exceptionnelle Echelon 2

Cochat	Pierre	Pédiatrie
Cordier	Jean-François	Pneumologie ; addictologie
Etienne	Jérôme	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
Gouillat	Christian	Chirurgie digestive
Guérin	Jean-François	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
Mauguière	François	Neurologie
Ninet	Jacques	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; médecine générale ; addictologie
Peyramond	Dominique	Maladie infectieuses ; maladies tropicales
Philip	Thierry	Cancérologie ; radiothérapie
Raudrant	Daniel	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
Rudigoz	René-Charles	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale

Professeurs des Universités – Praticiens Hospitaliers

Classe exceptionnelle Echelon 1

Baverel	Gabriel	Physiologie
Blay	Jean-Yves	Cancérologie ; radiothérapie
Borson-Chazot	Françoise	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; Gynécologie médicale
Denis	Philippe	Ophtalmologie
Finet	Gérard	Cardiologie
Guérin	Claude	Réanimation ; médecine d'urgence
Lehot	Jean-Jacques	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
Lermusiaux	Patrick	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
Martin	Xavier	Urologie
Mellier	Georges	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
Michallet	Mauricette	Hématologie ; transfusion
Miossec	Pierre	Immunologie
Morel	Yves	Biochimie et biologie moléculaire
Mornex	Jean-François	Pneumologie ; addictologie
Neyret	Philippe	Chirurgie orthopédique et traumatologique
Ninet	Jean	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
Ovize	Michel	Physiologie
Ponchon	Thierry	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
Pugeat	Michel	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; Gynécologie médicale
Revel	Didier	Radiologie et imagerie médicale
Rivoire	Michel	Cancérologie ; radiothérapie
Thivolet-Bejui	Françoise	Anatomie et cytologie pathologiques
Vandenesch	François	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
Zoulim	Fabien	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie

Professeurs des Universités – Praticiens Hospitaliers

Première classe

André-Fouet	Xavier	Cardiologie
Barth	Xavier	Chirurgie générale
Berthezene	Yves	Radiologie et imagerie médicale
Bertrand	Yves	Pédiatrie
Beziat	Jean-Luc	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
Boillot	Olivier	Chirurgie digestive
Braye	Fabienne	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie
Breton	Pierre	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
Chassard	Dominique	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
Chevalier	Philippe	Cardiologie
Claris	Olivier	Pédiatrie
Colin	Cyrille	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
Colombel	Marc	Urologie
Cottin	Vincent	Pneumologie ; addictologie
D'Amato	Thierry	Psychiatrie d'adultes ; addictologie
Delahaye	François	Cardiologie
Di Fillipo	Sylvie	Cardiologie
Disant	François	Oto-rhino-laryngologie
Douek	Philippe	Radiologie et imagerie médicale
Ducerf	Christian	Chirurgie digestive
Dumontet	Charles	Hématologie ; transfusion
Durieu	Isabelle	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; médecine générale ; addictologie
Edery	Charles Patrick	Génétique
Fauvel	Jean-Pierre	Thérapeutique ; médecine d'urgence ; addictologie
Gaucherand	Pascal	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
Guenot	Marc	Neurochirurgie
Gueyffier	François	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
Guibaud	Laurent	Radiologie et imagerie médicale
Herzberg	Guillaume	Chirurgie orthopédique et traumatologique
Honorat	Jérôme	Neurologie
Lachaux	Alain	Pédiatrie
Lina	Bruno	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
Lina	Gérard	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
Mabrut	Jean-Yves	Chirurgie générale
Mertens	Patrick	Anatomie
Mion	François	Physiologie
Morelon	Emmanuel	Néphrologie
Moulin	Philippe	Nutrition
Négrier	Claude	Hématologie ; transfusion
Négrier	Marie-Sylvie	Cancérologie ; radiothérapie
Nicolino	Marc	Pédiatrie
Nighoghossian	Norbert	Neurologie
Obadia	Jean-François	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
Picot	Stéphane	Parasitologie et mycologie
Rode	Gilles	Médecine physique et de réadaptation
Rousson	Robert-Marc	Biochimie et biologie moléculaire
Roy	Pascal	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
Ruffion	Alain	Urologie
Ryvlín	Philippe	Neurologie
Scheiber	Christian	Biophysique et médecine nucléaire

Schott-Pethelaz	Anne-Marie	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
Terra	Jean-Louis	Psychiatrie d'adultes ; addictologie
Tilikete	Caroline	Physiologie
Touraine	Jean-Louis	Néphrologie
Truy	Eric	Oto-rhino-laryngologie
Turjman	Francis	Radiologie et imagerie médicale
Vallée	Bernard	Anatomie
Vanhems	Philippe	Epidémiologie, économie de la santé et prévention

Professeurs des Universités – Praticiens Hospitaliers Seconde Classe

Allaouchiche	Bernard	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
Argaud	Laurent	Réanimation ; médecine d'urgence
Aubrun	Frédéric	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
Badet	Lionel	Urologie
Bessereau	Jean-Louis	Biologie cellulaire
Boussel	Loïc	Radiologie et imagerie médicale
Calender	Alain	Génétique
Charbotel	Barbara	Médecine et santé au travail
Chapurlat	Roland	Rhumatologie
Cotton	François	Radiologie et imagerie médicale
Dalle	Stéphane	Dermato-vénéréologie
Dargaud	Yesim	Hématologie ; transfusion
Devouassoux	Mojgan	Anatomie et cytologie pathologiques
Dubernard	Gil	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
Dumortier	Jérôme	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
Fanton	Laurent	Médecine légale
Faure	Michel	Dermato-vénéréologie
Fellahi	Jean-Luc	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
Ferry	Tristan	Maladie infectieuses ; maladies tropicales
Fourneret	Pierre	Pédopsychiatrie ; addictologie
Gillet	Yves	Pédiatrie
Girard	Nicolas	Pneumologie
Gleizal	Arnaud	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
Guyen	Olivier	Chirurgie orthopédique et traumatologique
Henaine	Roland	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
Hot	Arnaud	Médecine interne
Huissoud	Cyril	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
Jacquin-Courtois	Sophie	Médecine physique et de réadaptation
Janier	Marc	Biophysique et médecine nucléaire
Javouhey	Etienne	Pédiatrie
Juillard	Laurent	Néphrologie
Jullien	Denis	Dermato-vénéréologie
Kodjikian	Laurent	Ophtalmologie
Krolak Salmon	Pierre	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; médecine générale ; addictologie
Lejeune	Hervé	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
Merle	Philippe	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
Michel	Philippe	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
Monneuse	Olivier	Chirurgie générale
Mure	Pierre-Yves	Chirurgie infantile
Nataf	Serge	Cytologie et histologie
Pignat	Jean-Christian	Oto-rhino-laryngologie
Poncet	Gilles	Chirurgie générale

Raverot	Gérald	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale
Ray-Coquard	Isabelle	Cancérologie ; radiothérapie
Richard	Jean-Christophe	Réanimation ; médecine d'urgence
Rossetti	Yves	Physiologie
Rouvière	Olivier	Radiologie et imagerie médicale
Saoud	Mohamed	Psychiatrie d'adultes
Schaeffer	Laurent	Biologie cellulaire
Souquet	Jean-Christophe	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
Vukusic	Sandra	Neurologie
Wattel	Eric	Hématologie ; transfusion

Professeur des Universités - Médecine Générale

Letrilliart	Laurent
Moreau	Alain

Professeurs associés de Médecine Générale

Flori	Marie
Lainé	Xavier
Zerbib	Yves

Professeurs émérites

Chatelain	Pierre	Pédiatrie
Bérard	Jérôme	Chirurgie infantile
Boulangier	Pierre	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
Bozio	André	Cardiologie
Chayvialle	Jean-Alain	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
Daligand	Liliane	Médecine légale et droit de la santé
Descotes	Jacques	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie
Droz	Jean-Pierre	Cancérologie ; radiothérapie
Floret	Daniel	Pédiatrie
Gharib	Claude	Physiologie
Itti	Roland	Biophysique et médecine nucléaire
Kopp	Nicolas	Anatomie et cytologie pathologiques
Neidhardt	Jean-Pierre	Anatomie
Petit	Paul	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
Rousset	Bernard	Biologie cellulaire
Sindou	Marc	Neurochirurgie
Trepo	Christian	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
Trouillas	Paul	Neurologie
Trouillas	Jacqueline	Cytologie et histologie
Viale	Jean-Paul	Réanimation ; médecine d'urgence

Maîtres de Conférence – Praticiens Hospitaliers Hors classe

Benchaib	Mehdi	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
----------	-------	--

Bringuier	Pierre-Paul	Cytologie et histologie
Davezies	Philippe	Médecine et santé au travail
Germain	Michèle	Physiologie
Jarraud	Sophie	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
Jouvet	Anne	Anatomie et cytologie pathologiques
Le Bars	Didier	Biophysique et médecine nucléaire
Normand	Jean-Claude	Médecine et santé au travail
Persat	Florence	Parasitologie et mycologie
Pharaboz-Joly	Marie-Odile	Biochimie et biologie moléculaire
Piaton	Eric	Cytologie et histologie
Rigal	Dominique	Hématologie ; transfusion
Sappey-Marinier	Dominique	Biophysique et médecine nucléaire
Streichenberger	Nathalie	Anatomie et cytologie pathologiques
Timour-Chah	Quadiri	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
Voiglio	Eric	Anatomie
Wallon	Martine	Parasitologie et mycologie

Maîtres de Conférence – Praticiens Hospitaliers **Première classe**

Ader	Florence	Maladies infectieuses ; maladies tropicales
Barnoud	Raphaëlle	Anatomie et cytologie pathologiques
Bontemps	Laurence	Biophysique et médecine nucléaire
Chalabreysse	Lara	Anatomie et cytologie pathologiques
Charrière	Sybil	Nutrition
Collardeau Frachon	Sophie	Anatomie et cytologie pathologiques
Cozon	Grégoire	Immunologie
Dubourg	Laurence	Physiologie
Escuret	Vanessa	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
Hervieu	Valérie	Anatomie et cytologie pathologiques
Kolopp-Sarda	Marie Nathalie	Immunologie
Laurent	Frédéric	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
Lesca	Gaëtan	Génétique
Maucort Boulch	Delphine	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
Meyronet	David	Anatomie et cytologie pathologiques
Peretti	Noel	Nutrition
Pina-Jomir	Géraldine	Biophysique et médecine nucléaire
Plotton	Ingrid	Biochimie et biologie moléculaire
Rabilloud	Muriel	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
Ritter	Jacques	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
Roman	Sabine	Physiologie
Tardy Guidollet	Véronique	Biochimie et biologie moléculaire
Tristan	Anne	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
Vlaeminck-Guillem	Virginie	Biochimie et biologie moléculaire

Maîtres de Conférences – Praticiens Hospitaliers
Seconde classe

Casalegno	Jean-Sébastien	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
Chêne	Gautier	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
Duclos	Antoine	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
Phan	Alice	Dermato-vénérologie
Rheims	Sylvain	Neurologie
Rimmele	Thomas	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
Schluth-Bolard	Caroline	Génétique
Simonet	Thomas	Biologie cellulaire
Thibault	Hélène	Physiologie
Vasiljevic	Alexandre	Anatomie et cytologie pathologiques
Venet	Fabienne	Immunologie

Maîtres de Conférences associés de Médecine Générale

Chanelière	Marc
Farge	Thierry
Figon	Sophie

COMPOSITION DU JURY

Président

Monsieur le Professeur P-Y. GUEUGNIAUD

Membres

Monsieur le Professeur K. TAZAROURTE

Monsieur le Médecin en Chef, Professeur agrégé du Val de Grâce, P-F. WEY

Monsieur le Médecin en Chef M. PUIDUPIN

DIRECTEUR DE THESE

Monsieur le Médecin en Chef, Professeur agrégé du Val de Grâce, J-Y. MARTINEZ

A notre Président de Jury

Monsieur le Professeur P-Y. GUEUGNIAUD

Vous nous faites l'honneur de juger notre travail et de bien vouloir accepter la présidence de notre jury de thèse. Nous vous remercions et vous témoignons notre profonde et respectueuse reconnaissance.

Aux Membres du Jury

Monsieur le Professeur K. TAZAROURTE

Votre présence parmi les membres du jury nous honore profondément. Nous vous remercions d'avoir accepté de juger notre travail et vous prions de croire en notre respectueuse considération.

Monsieur le Médecin en Chef, Professeur agrégé du Val de Grâce, P-F. WEY

Vous avez contribué à notre formation lors de notre internat à l'HIA Desgenettes et nous faites maintenant l'honneur de juger notre travail. Soyez assuré de toute notre reconnaissance et de notre profond respect.

Monsieur le Médecin en Chef M. PUIDUPIN

L'exemple de votre exercice à Djibouti, nous a donné envie d'embrasser ce métier. Vous avez également participé à notre formation lors de notre internat à l'HIA Desgenettes. Nous vous sommes très reconnaissants de participer à ce jury et vous témoignons nos remerciements les plus sincères.

A notre Directeur de Thèse

Monsieur le Médecin en Chef, Professeur agrégé du Val de Grâce, J-Y. MARTINEZ

Vous nous avez inspiré le sujet de ce travail et vous nous avez aidé et soutenu tout au long de sa réalisation. Nous ne saurons être suffisamment reconnaissants pour votre disponibilité et votre amabilité.

Nous vous témoignons toute notre gratitude et nos remerciements les plus sincères.

Remerciements

Monsieur le Médecin en Chef, H-P. BOUTIN

Vous nous avez permis de réaliser cette étude auprès de militaires de votre unité, le Régiment Médical de La Valbonne. Nous vous témoignons nos remerciements les plus sincères.

Monsieur le Médecin en Chef, E. JAVELOT

Vous avez accepté de nous confier les locaux et le personnel de votre CMA pour la réalisation de cette étude. Nous vous en sommes profondément reconnaissants.

A l'Interne de Spécialité Hospitalière, E. MAVROVI

Tu m'as accompagné au cours de cette étude, en réalisant les mesures échographiques. Un immense merci pour ton aide et ton enthousiasme.

Nous remercions particulièrement toutes les personnes qui ont contribué à notre formation que ce soit à Bordeaux ou à Lyon.

Nous tenons spécialement à remercier les équipes des différents services rencontrés pendant notre internat à Lyon :

- A l'équipe du service d'Unité de Protection, d'Accueil, de Traitement et d'Orientation des Urgences de l'HIA Desgenettes
- A l'équipe du service de Cardiologie de HIA Desgenettes
- A l'équipe du Centre Médical des Armées de Valence
- A l'équipe du service de Maladies Infectieuses et Tropicales de l'HIA Desgenettes
- A l'équipe du service d'Accueil des Urgences Pédiatriques de l'Hôpital Femme Mère Enfant
- A l'équipe du service d'Accueil des Urgences Gynéco-Obstétriques de l'Hôpital Femme Mère Enfant

Nous tenons également à remercier chaleureusement toutes les personnes du CMA de La Valbonne, qui ont participé à la réalisation de cette étude :

- le Médecin en Chef BOISSY
- le Médecin des Armées COMMEAU
- l'Infirmière de Classe Supérieure BECHERE
- le Sergent-Chef GOUY
- l'Infirmier Anesthésiste de Classe Normale THIEUW
- l'Infirmière de Classe Normale Riant
- le Caporal-Chef FIDANZA
- le Caporal SCHULZ

Aux 84 volontaires qui ont participé à cette étude

A nos patients

A mon épouse, pour son soutien inconditionnel et le fruit de notre amour

A notre futur enfant...

A mes très chers parents

A mes frères et sœurs : Marie-Camille et Etienne, Pauline et Louis-Marie, Benoît, Claire, Grégoire, pour cet amour fraternel qui nous unit

A ma belle-famille : Véronique et Pierre, Aude, Anne et Christophe

A mes neveux et nièces : Agathe ma très chère filleule, Augustin, Thomas et la petite Chloé

A mes grands-parents, oncles et tantes, cousins et cousines

A mon parrain Pascal, pour son exemple

A mes amis : Vince, Jean, Dewee, Gaetan, Nicolas et Julie, Gautier, les deux Adrien, Camille, Donatien, Charles, Luc, Mathieu, Guillaume, Domitille et Jean-Baptiste, Philippe, Marie-Clotilde, Jean-Baptiste, Stéphanie, Alexandre et Claire et j'en oublie...

A ma famille matriculaire bordelaise, en particulier Anne-Claire, Loraine, Myriam, John et Capucine

Deo Gratias !

Mari Transve Mare, Hominibus Semper Prodesse

Sur mer et au-delà des mers, toujours au service de l'Homme

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 le 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.”

Table des matières

I. INTRODUCTION	24
II. GENERALITES ET DEFINITION DE LA PROBLEMATIQUE	26
A. CONTEXTE EPIDEMIOLOGIQUE	26
1. <i>Introduction</i>	26
2. <i>Terminologie en médecine de guerre</i>	26
2.1. Blessés au combat (WIA ou Wounded In Action)	27
2.2. Morts au combat (KIA ou Killed In Action).....	27
2.3. Morts des suites de leurs blessures (DOW ou Died Of Wound)	27
3. <i>Mécanisme et nature des agents lésionnels</i>	28
4. <i>Répartition anatomique</i>	29
5. <i>Sévérité des blessures</i>	30
6. <i>Mortalité au combat</i>	31
6.1. Bases de données épidémiologiques.....	31
6.2. Notion de « décès évitable »	32
6.3. Evolution des taux de KIA et DOW	33
6.4. Distribution temporelle des décès au combat.....	34
6.5. Mortalité au combat au XXIème siècle	35
7. <i>Evolution récente de la mortalité au combat</i>	37
7.1. Introduction	37
7.2. Diminution de la mortalité liée aux hémorragies de membres	38
7.3. Augmentation de la mortalité liée aux hémorragies jonctionnelles.....	39
B. PROBLEMATIQUE DES HEMORRAGIES JONCTIONNELLES	40
1. <i>Nature et définition des hémorragies jonctionnelles</i>	40
1.1. Définition et caractéristiques	40
1.2. Répartition des hémorragies jonctionnelles.....	40
1.3. Sévérité des hémorragies jonctionnelles.....	41
2. <i>Méthodes utilisées pour le contrôle des hémorragies jonctionnelles en médecine de guerre</i>	42
2.1. Introduction	42
2.2. Compression manuelle	43
2.3. Pansements compressifs	43
2.4. Pansements hémostatiques	44
2.5. Stabilisation pelvienne.....	45

2.6. Pantalon antichoc militaire	45
3. <i>Recommandations françaises</i>	46
4. <i>Emergence des dispositifs de compression « jonctionnelle »</i>	47
4.1. Historique	47
4.2. Objectif et conditions d'utilisation	48
5. <i>Présentation des dispositifs de compression jonctionnelle</i>	49
5.1. Introduction	49
5.2. Combat Ready Clamp® (CRoC)	50
5.3. Abdominal Aortic and Junctional Tourniquet® (AAJT)	53
5.4. Junctional Emergency Treatment Tool® (JETT)	57
5.5. SAM Junctional Tourniquet® (SJT)	59
5.6. Synthèse	61
6. <i>Comparaison expérimentale des dispositifs jonctionnels</i>	63
7. <i>Recommandations américaines</i>	65
8. <i>Choix pour l'étude</i>	66
9. <i>Perspectives d'avenir pour le contrôle des hémorragies jonctionnelles</i>	67
9.1. iTClamp 50®	67
9.2. TourniCath®	68
9.3. XStat®	69
9.4. Stimulation électrique	69
III. MATERIELS ET METHODE	70
1. <i>Objectifs</i>	70
2. <i>Critères de jugement</i>	70
3. <i>Type d'étude</i>	70
4. <i>Population</i>	71
4.1. Critères d'inclusion	71
4.2. Critères d'exclusion	71
5. <i>Matériel testé</i>	72
5.1. Garrot de membre de type SOFTT®, dit « tourniquet »	72
5.2. Dispositifs de compression jonctionnelle	72
6. <i>Tenue</i>	74
7. <i>Lieux et circonstances de l'étude</i>	75
8. <i>Protocole clinique</i>	75
8.1. Mesures échographiques	75
8.2. Phase I : Pré-test	75
8.3. Phase II : Mesures objectives	76

8.4. Phase III : Données qualitatives	81
9. Anonymat et gestion des données personnelles.....	81
10. Analyse des données.....	81
11. Ethique de l'étude	83
IV. RESULTATS	84
A. POPULATION ET DIAGRAMME DES FLUX.....	84
B. RESULTATS DE LA PHASE II	86
1. Démographie	86
2. Critère de jugement principal	87
2.1. Efficacité comparée	87
2.2. Mesure de l'efficacité	88
2.3. Résultats croisés	89
3. Critères de jugement secondaires.....	91
3.1. Temps de pose du garrot tourniquet.....	91
3.2. Temps de pose du dispositif de compression jonctionnelle	91
3.3. Efficacité du dispositif de compression jonctionnelle utilisé seul, sans resserrage	92
3.4. Efficacité du dispositif de compression jonctionnelle utilisé seul, après resserrage	93
4. Synthèse de la phase II.....	98
C. RESULTATS DE LA PHASE III	100
1. Questionnaire d'évaluation du ressenti des participants	100
1.1. Formation	100
1.2. Utilité de l'exercice	100
1.3. Utilisation du garrot de membre	101
1.4. Temps de pose du garrot de membre	101
1.5. Motif d'arrêt du serrage du garrot de membre.....	102
1.6. Evaluation de la douleur lors de la pose du garrot de membre.....	103
1.7. Evaluation de la douleur lors de la pose du dispositif de compression jonctionnelle	103
2. Questionnaire d'évaluation du ressenti des poseurs du dispositif de compression jonctionnelle	105
2.1. Repérage du site à comprimer	105
2.2. Mise en place du dispositif de compression jonctionnelle	105
2.3. Temps de pose du dispositif de compression jonctionnelle	106
2.4. Effort demandé lors de la mise en place du dispositif de compression jonctionnelle	107
2.5. Stabilité du dispositif de compression jonctionnelle	108
3. Synthèse de la phase III.....	109
V. DISCUSSION	111

A. ANALYSE CRITIQUE.....	111
1. <i>Méthodologie</i>	111
1.1. Rappel problématique	111
1.2. Population	112
1.3. Circonstances de l'étude	112
1.4. Mesures échographiques	113
1.5. Repérage du site à comprimer	113
1.6. Pose des dispositifs.....	114
1.7. Questionnaires	115
1.8. Puissance de l'étude	115
2. <i>Résultats</i>	115
2.1. Littérature.....	115
2.2. Composition des groupes	116
2.3. Efficacité du dispositif de compression jonctionnelle en cas d'insuffisance du garrot tourniquet.....	117
2.4. Efficacité du dispositif de compression jonctionnelle utilisé seul.....	118
2.5. Temps de pose.....	121
2.6. Sûreté des dispositifs.....	122
2.7. Données qualitatives	122
B. SYNTHÈSE	126
1. <i>Comparaison CRoC/SJT</i>	126
1.1. Données actuelles.....	126
1.2. Données à étudier	127
1.3. Conclusions.....	129
2. <i>Recommandations</i>	129
2.1. Indications	129
2.2. Formation	130
2.3. Pour quels utilisateurs ?	131
VI. ANNEXES.....	132
VII. BIBLIOGRAPHIE.....	140
VIII. CONCLUSIONS	146

Liste d'Abbreviations

- AAJT : Aortic Abdominal and Junctional Tourniquet
- AIS : Abbreviated Injury Scale
- BG : Blessé de Guerre
- CITeRA : Centre d'Instruction aux Techniques de Réanimation de l'Avant
- CMA : Centre Médical des Armées
- CMC : Compagnie Médico-Chirurgicale
- CRoC : Combat Ready Clamp
- DOW : Died Of Wounds
- FDA : Food and Drug Administration
- HIA : Hôpital d'Instruction des Armées
- HMC : Hôpital Mobile de Campagne
- ISS : Injury Severity Score
- JETT : Junctional Emergency Treatment Tool
- JTTR : Joint Theater Trauma Registry
- KIA : Killed In Action
- NRBC : Nucléaire, Radiologique, Biologique et Chimique
- NS : Non Survivable
- OPEX : Opération Extérieure
- PS : Potentially Survivable
- RSA : Registre de Santé de l'Avant
- RTD : Return To Duty
- SC : Sauvetage au Combat
- SJT : SAM Junctional Tourniquet
- SSA : Service de Santé des Armées
- TCCC : Tactical Combat Casualty Care
- TCD : Target Compression Devices
- UMO : Unité Médicale Opérationnelle
- VMP : Visite Médicale Périodique
- WIA : Wounded In Action

I. Introduction

Depuis les années 90, plusieurs études ont montré que l'hémorragie restait la principale cause de décès évitable au combat, que ce soit avant ou après la première prise en charge médico-chirurgicale (1–3). Pendant longtemps, les hémorragies des membres ont représenté la première localisation hémorragique de décès évitables (4). Pour y faire face, de nombreux garrots dits « tourniquets » ont été conçus et largement répandus dans les armées occidentales. Ces garrots, utilisables en auto-application, font désormais partie intégrante de l'équipement individuel de chaque militaire, projeté en opération extérieure. Quelques études ont pu montrer que leur plus grande utilisation avait permis d'augmenter considérablement la survie des blessés au combat (5–8).

Les conflits modernes Irakien et Afghan au début du XXI^{ème} siècle, ont bouleversé la morbi-mortalité des blessés de guerre. La raison de ce changement est principalement liée à l'emploi d'agents explosifs, comme les IED (Dispositifs Explosifs Improvisés). Ces IED ont la particularité de causer des blessures multiples et sévères, avec des délabrements tissulaires plus importants se compliquant souvent d'amputations traumatiques des membres et de blessures hémorragiques dites « jonctionnelles » (9). Les hémorragies jonctionnelles concernent des vaisseaux artériels de gros calibres, qui réalisent une jonction entre le tronc et les membres, ainsi qu'à la tête. Trop proximales, elles sont non garrotables et difficilement compressibles. Elles sont responsables de 20% des décès évitables de cause hémorragique sur le terrain (10), dont la majorité concerne la région de l'aîne (11).

Dans *Black Hawk Down – A Story Of Modern War*, Mark Bowden relate les combats de Mogadiscio des 3 et 4 octobre 1993 (12). Il rapporte notamment la lutte héroïque d'un médecin des forces spéciales, pour sauver la vie du caporal James Smith d'une blessure par balle au niveau du pli de l'aîne. Cette scène qui est également rapportée dans l'adaptation cinématographique *Black Hawk Down* de Ridley Scott (13), traduit l'impuissance de son équipe à stopper cette hémorragie jonctionnelle, malgré une compression manuelle et une

tentative acharnée pour réaliser un clampage artériel. Malgré les efforts engagés, le caporal meurt de ses blessures.

Depuis quelques années, le contrôle des hémorragies jonctionnelles est ainsi devenu un enjeu majeur dans la prise en charge des blessés de guerre (14,15). Dans ce contexte, des industriels américains ont conçu des dispositifs mécaniques, afin de permettre une compression sélective de ces jonctions artérielles. Depuis 2010, quatre dispositifs ont ainsi été développés et approuvés pour le contrôle des hémorragies jonctionnelles au creux inguinal. Ces dispositifs commencent progressivement à être utilisés dans l'armée américaine. En France, seul le *Combat Ready Clamp*® (CRoC) est à l'heure actuelle en dotation dans les unités médicales opérationnelles de Rôle 1, en opération extérieure. Les premières études expérimentales de ces dispositifs sont prometteuses ; elles ont permis de prouver leur efficacité pour interrompre une hémorragie, dans des délais relativement courts. A ce jour, très peu d'études cliniques comparatives ont été publiées dans la littérature.

Nous avons donc eu l'idée de comparer l'efficacité de deux dispositifs de compression ilio-fémorale au creux inguinal utilisés en médecine de guerre, le *Combat Ready Clamp*® (CRoC) et le *SAM Junctional Tourniquet*® (SJT), lorsque les garrots tourniquets sont insuffisants en auto-application pour interrompre le flux artériel. Nous avons ainsi réalisé une étude prospective portant sur des volontaires sains. Le but de cette étude était de proposer à la dotation des formations médicales en opération extérieure, le dispositif jonctionnel le plus efficace.

Dans une première partie, nous ferons un point sur la littérature concernant l'épidémiologie actuelle des blessures de guerre, nous présenterons les hémorragies jonctionnelles ainsi que les moyens mis en œuvre pour essayer de les contrôler. Dans une deuxième partie, nous proposerons un protocole d'étude visant à mesurer l'efficacité des deux dispositifs de compression jonctionnelle, sur des volontaires sains. Une troisième partie traitera des résultats. Enfin, dans la quatrième partie, nous essaierons d'interpréter ces résultats afin de proposer des recommandations concernant la prise en charge des hémorragies jonctionnelles.

II. Généralités et définition de la problématique

A. Contexte épidémiologique

1. Introduction

Les caractéristiques de la guerre au cours du XXème siècle ont connu un bouleversement. D'un schéma d'affrontement entre deux armées régulières, nous sommes passés à des actions militaires de type guérilla dont le Vietnam fut un précurseur. Les conflits irakiens et afghans qui ont occupé l'actualité en sont les parfaits exemples (16).

Ces conflits sont dits non conventionnels ou « asymétriques » ; ils sont menés par un faible contre un occupant fort à l'aide d'actions terroristes de type kamikaze ou de guérilla urbaine, au prix de pertes collatérales importantes dans la population. On s'est ainsi aperçu que ces nouvelles formes de combat induisaient une redistribution de la morbi-mortalité des blessés. Une nouvelle façon de combattre impose donc une nouvelle façon de prendre en charge les blessés au combat.

La compréhension du pouvoir vulnérant des armes utilisées, de la nature et de la sévérité des blessures créées, ainsi que de la cause des décès, est déterminante pour améliorer la prise en charge des blessés de guerre et de développer des moyens de défense efficaces.

2. Terminologie en médecine de guerre

Afin de mieux comprendre et de cibler les enjeux, les décès sont communément classés en fonction des circonstances de survenue et de la première prise en charge médicale. L'analyse des décès par les américains depuis la guerre du Vietnam, a permis une classification qui a été reprise par l'OTAN et les principales forces occidentales, séparant les

morts au combat (KIA : Killed In Action) et les décédés des suites de leurs blessures (DOW : Died Of Wounds) (1).

2.1. Blessés au combat (WIA ou Wounded In Action)

Les blessés au combat sont appelés WIA ou Wounded In Action. Ils représentent tous les blessés au combat admis dans une structure médicale (17).

Ils regroupent les blessés qui vont mourir de leur blessures appelés Died Of Wound (DOW), les blessés qui vont survivre et être évacués mais également les blessés légers qui vont rejoindre leur unité en moins de 72h, qui sont appelés Return To Duty (RTD).

2.2. Morts au combat (KIA ou Killed In Action)

Les morts au combat (KIA) sont décédés entre le moment de leur blessure et la première prise en charge médicale dans une structure de soins. Il est admis qu'ils représentent la majorité des décès. On retrouve ainsi dans différentes études qu'environ 80% de tous les décès au combat surviennent avant la première prise en charge médicale (2,3). Les KIA sont le reflet de la capacité létale des armes employées, des capacités d'extraction et d'évacuation d'une chaîne santé, mais aussi de l'efficacité des stratégies de secourisme enseignées (17).

$$\text{Taux KIA} = n / (\text{WIA} - \text{RTD}) + \text{KIA}$$

(n = nombre de blessés décédés avant prise en charge dans une structure médicale)

2.3. Morts des suites de leurs blessures (DOW ou Died Of Wound)

Les décédés des suites de leur blessures (DOW) surviennent après la première prise en charge médicale dans une structure de soins, que ce soit pendant leur évacuation ou à l'hôpital. Les DOW sont donc un indicateur indirect de la qualité et de l'efficacité des soins dispensés par la chaîne santé en pré-hospitalier (17).

$$\text{Taux DOW} = n / (\text{WIA} - \text{RTD})$$

(n = nombre de blessés décédés après prise en charge dans une structure médicale)

3. Mécanisme et nature des agents lésionnels

L'étude des conflits majeurs du XXème siècle a permis de mettre en évidence la grande proportion des blessures pénétrantes par arme à feu, qui représentaient 90 % de l'ensemble des blessures de guerre. Le reste étant constitué des traumatismes fermés, des lésions de blast et des brûlures (1).

Cette distribution s'est considérablement modifiée avec l'apparition des conflits « asymétriques », en Irak ou en Afghanistan ; il n'existe plus de ligne de front définie, et l'ennemi utilise préférentiellement des armes bien spécifiques : engins explosifs improvisés (IED), mines, roquettes ou tir de mortier. Tout ceci explique la nette prédominance des lésions par explosions.

Une étude menée par Peake et al. lors du conflit Irakien de 2003 à 2004 a ainsi montré que près de 70 % des blessés américains ont été victimes de lésions par explosion (18). Aucun conflit à grande échelle n'avait engendré autant de blessures par explosion.

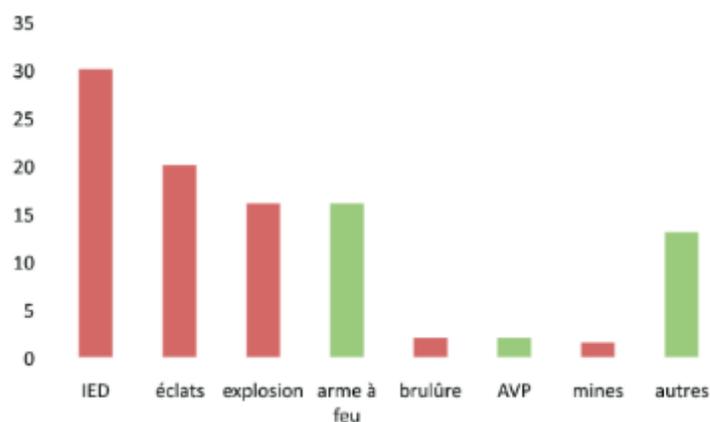


Figure 1 : Répartition des agents lésionnels pour OIF, mars 2003 à septembre 2004, d'après (18). En rouge, apparaissent les agents explosifs, et en vert les autres agents.

Belmont et al. ont confirmé ce résultat sur les conflits Irakien et Afghan de 2005 à 2009, en montrant que 74,4% des 29624 blessures au combat étudiées, étaient liées à une explosion (19).

Une étude française plus récente a rapporté l'activité des postes médicaux de Rôle 1, pendant l'opération Pamir en Afghanistan durant l'année 2011. Les mécanismes lésionnels principaux pour les blessés français sont des agents explosifs : les IED (15%), les éclats (23%), le polycrillage (23%), les explosions (14%). Ce qui représente donc 75% de toutes les blessures (20).

Les IED ou *Improvised Explosive Device* sont des engins explosifs improvisés assemblés à partir d'explosifs bruts ou de munitions non explosées, qui sont déclenchés par la victime ou à distance (rayon infrarouge, téléphone mobile). Les IED ont été déclinés en explosifs d'embuscade de convois (*roadside explosives*), mines explosives (*blast mines*), engins explosifs projectilaires pénétrants (*Explosive Formed Projectiles – EFP*) et explosions suicides (*suicide bombings*) (21).

La particularité des agents explosifs repose sur la multiplicité et la sévérité des lésions occasionnées. Champion et al. ont recensé l'ensemble des blessures pour 1151 combattants des conflits récents en Irak et en Afghanistan (22). 12 889 blessures ont été ainsi rapportées soit une moyenne de 11,2 blessures par victime.

Les victimes des conflits modernes présentent ainsi de nombreuses lésions liées le plus souvent à une projection de fragments de type polycrillage, parfois associées à des lésions d'amputation traumatique, de brûlures et de blast si la victime est proche de l'épicentre de l'explosion (16).

4. Répartition anatomique

La répartition anatomique des blessures au combat n'est pas aléatoire. Elle est la résultante de plusieurs facteurs que sont : le type d'arme, la visée de l'ennemi et les effets de protection.

Les régions anatomiques les plus touchées actuellement sont les membres, les jonctions et l'extrémité céphalique. Cette répartition est liée à l'amélioration récente des effets de protection (casque kevlar et gilet pare-éclat) et à l'augmentation des blessures par explosion.

On observe ainsi moins de lésions thoraco-abdominales mais en revanche plus de lésions des extrémités, souvent compliquées de syndrome des loges, d'infections voire d'amputation (16).

Owens et al. confirment cette conclusion, dans une étude sur la répartition anatomique de 6609 blessures au cours des conflits récents d'Irak et d'Afghanistan (23). Ils soulignent la forte proportion des blessures céphaliques (29,4%) et des membres (54,1%), contre celles de la région thoracique (5,6%) et abdominale (10,7%). Les auteurs en s'appuyant sur la répartition anatomique des principaux conflits du XXème siècle, signalent dans cette étude une progression significative des blessures céphaliques, ainsi qu'une baisse significative des blessures thoraciques.

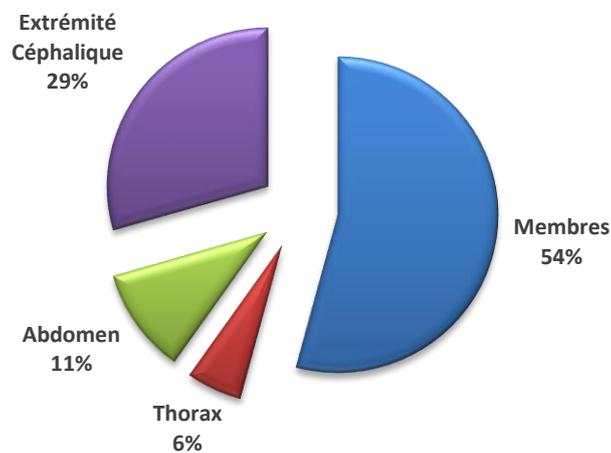


Figure 2 : Répartition anatomique des blessures pour les conflits modernes selon (23)

L'étude de Belmont et al. qui a rapporté près de 30000 blessures au combat pour les conflits Irakiens et Afghans de 2005 à 2009, retrouve une répartition quasi similaire : 51,9% pour les membres, 28,1% pour l'extrémité céphalique, 10,1% pour l'abdomen et 9,9% pour le thorax (19).

5. Sévérité des blessures

La sévérité des blessures au cours des dix dernières années, s'est accrue.

Kelly et al. ont comparé la gravité des blessures en utilisant deux scores de gravité (l'Abbreviated Injury Scale et l'Injury Severity Score) sur deux périodes différentes (2003-2004 vs 2006) concernant l'engagement des forces américaines en Irak et en Afghanistan (9).

Les auteurs ont ainsi mis en évidence l'augmentation de la sévérité des blessures mais également de leur nombre, au cours du conflit. Pour la première période (2003-2004), les scores de gravité étaient moins élevés significativement que pour la seconde (2006) : Injury Severity Score (27 +/- 14 vs 37 +/- 16, $p < 0,001$) et Abbreviated Injury Scale > 4 (1,1 +/- 0,79 vs 1,5 +/- 0,83, $p < 0,001$).

Ce phénomène traduit une nouvelle fois l'utilisation accrue des armes explosives par les insurgés, notamment sur la deuxième période des conflits qui correspond à la phase d'occupation, plus propice à l'emploi de ces armes.

Les agents explosifs causent ainsi des blessures plus nombreuses, plus complexes et plus sévères.

6. Mortalité au combat

L'analyse de la mortalité au combat reste fondamentale puisqu'elle permet de mieux comprendre la nature des blessures et leur localisation, afin de mettre en place une politique de soins appropriée, que ce soit dans l'équipement, la formation ou la prise en charge des blessés. Nous essaierons d'en montrer les grandes lignes, notamment pour les conflits modernes, afin de mieux saisir l'enjeu de la prise en charge des hémorragies jonctionnelles.

6.1. Bases de données épidémiologiques

La mortalité au combat a fait l'objet de nombreuses études dans la littérature. Cependant il en existe peu qui ont choisi d'étudier la mortalité avant la première prise en charge médicale (soit les KIA). Ce phénomène est expliqué par le manque important de données épidémiologiques concernant ces décès, mais également par les renseignements peu précis des circonstances de survenue des blessures.

Eastridge et al. ont ainsi montré en étudiant 4382 blessures au combat, recensées entre aout 2007 et mars 2010, que 87% d'entre elles n'étaient pas documentées en préhospitalier et 8% partiellement (24). Ce manque de données épidémiologiques doit ainsi être pris en compte dans l'interprétation des résultats des différentes études que nous allons développer, car comme précisent les auteurs « *nous ne savons pas ce que nous ne savons pas* ».

Pour remédier à ce manque, les américains utilisent depuis de nombreuses années un recueil de données standardisé, nommé dernièrement le Joint Theater Trauma Registry (JTTR), qui est régulièrement actualisé et optimisé. Ce fichier de recueil de la traumatologie de guerre permet une analyse des données médicales des patients, depuis le théâtre d'opérations jusqu'aux hôpitaux militaires aux Etats Unis.

En France depuis 2009, le CITeRA de Lyon a également mis en place un modèle de fiches de recueil de l'activité en traumatologie dont la collection constitue le Registre Santé de l'Avant (RSA). L'objectif principal de ce recueil est de décrire le profil des cas de traumatologie pris en charge, afin de proposer secondairement une évaluation de la bonne application des procédures de sauvetage au combat (20).

6.2. Notion de « décès évitable »

L'application de score de gravité sur les blessures des décès au combat, tels que l'AIS (Abbreviated Injury Scale) ou l'ISS (Injury Severity Score) a permis de distinguer deux populations.

La première population de décédés présente des blessures légères et superficielles qui ne mettent pas en jeu le pronostic vital, et qui sont potentiellement guérissables (*PS : Potentially Survivable*). On parle ainsi de « décès évitables ». Les décès de la seconde population présentent des blessures sévères avec un pronostic vital très engagé, qu'on définit comme létales ou non guérissables (*NS : Non Survivable*).

Les blessures potentiellement guérissables sont donc un enjeu considérable dans la prise en charge puisqu'elles entraînent une notion de réversibilité. En effet, une meilleure

compréhension de ces blessures permettrait de cibler l'effort à fournir dans les soins, la formation, l'équipement et la prévention afin d'améliorer la survie des blessés au combat et de prévenir ces « décès évitables ».

6.3. Evolution des taux de KIA et DOW

L'évolution des taux de KIA et DOW pour les conflits du XX^{ème} siècle selon Bellamy, a permis de tirer plusieurs enseignements. Tout d'abord, le taux de KIA est resté stable, au cours de tous ces conflits soit environ 20%, et cela malgré l'amélioration des moyens de protection et des soins dispensés. A contrario, on peut observer une indéniable amélioration du pourcentage DOW sur la première partie du XX^e siècle. Cette amélioration peut être attribuée à la plus grande efficacité de la chaîne santé mais également au progrès de la médecine, notamment en ce qui concerne l'antibiothérapie (1).

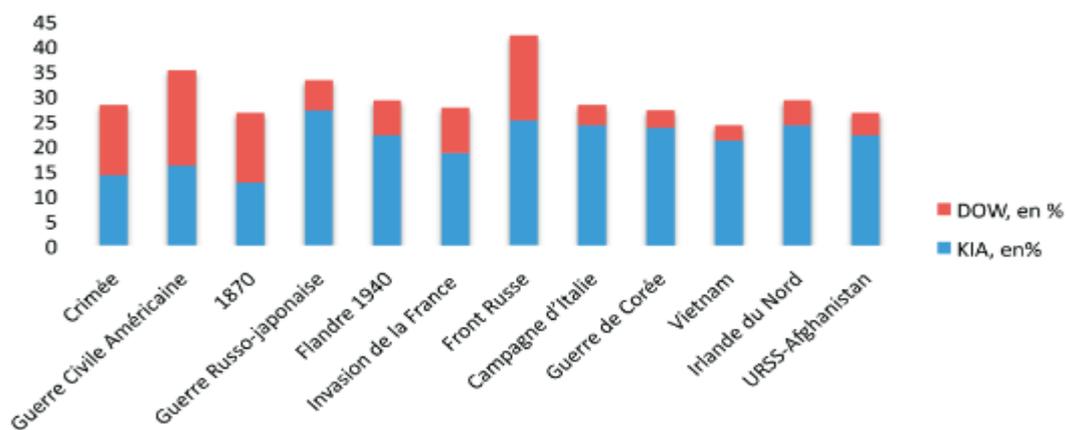


Figure 3 : Évolution des taux de KIA et DOW dans l'histoire des conflits du XX^{ème} siècle, selon (1)

Au XXI^{ème} siècle, les taux de KIA et DOW pour l'Irak et l'Afghanistan ne sont pas encore définitivement établis. Brethauer et al. ont estimé ces taux de KIA et DOW au cours des deux périodes du conflit Irakien : la phase d'invasion puis la phase d'occupation (25).

Pour la phase d'invasion (2003), les auteurs retrouvent des taux de KIA et DOW beaucoup plus faibles que pour les conflits du XX^{ème} siècle, à respectivement 13,5% et 0,8%, laissant entrevoir une nette amélioration de la prise en charge en médecine de guerre.

Concernant la phase d'occupation (2004-2005), les auteurs notent des taux comparables aux conflits du XX^{ème} siècle avec des chiffres respectivement à 20,2% et 5,5%. Cette résurgence de la mortalité est principalement liée à la capacité létale accrue des armes utilisées par les insurgés, avec principalement les armes explosives comme les IED.

6.4. Distribution temporelle des décès au combat

La grande majorité des décès au combat survient sur le champ de bataille, essentiellement des conséquences d'un choc hémorragique ou d'un traumatisme crânien grave.

Trunkey et al. ont défini une répartition trimodale des décès en pré-hospitalier en fonction du moment de leur survenue : immédiats, précoces et tardifs. Les décès immédiats sont dus à des blessures gravissimes le plus souvent attribuées à une explosion. Les décès précoces surviennent entre quelques minutes et quelques heures et sont imputables à une hémorragie massive, un traumatisme crânien ou une obstruction des voies aériennes. Les décès tardifs apparaissent à partir de quelques heures et demeurent la conséquence de défaillance multiviscérale (26).

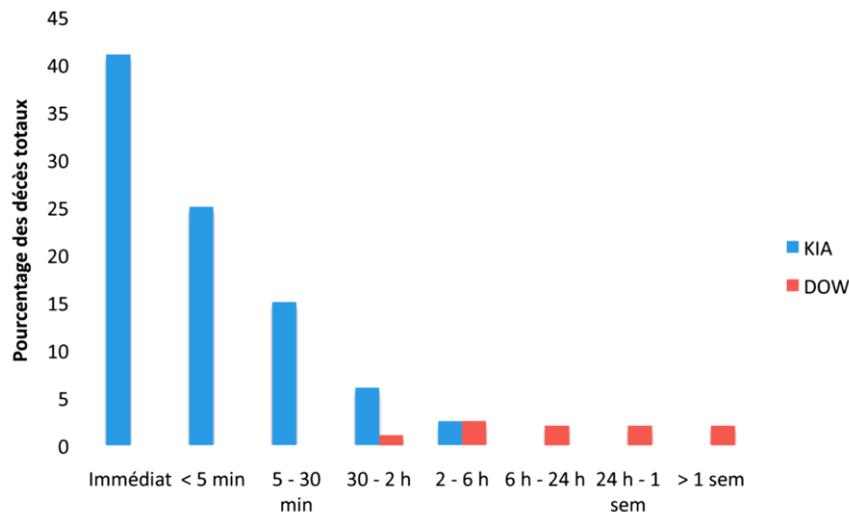


Figure 4 : Distribution temporelle des blessés selon (1)

Voici un schéma qui illustre la répartition temporelle des décès et qui montre la survenue très précoce de la majorité des décès au combat.

Le délai d'évacuation du blessé joue donc un rôle important dans la prise en charge médicale ; il conditionne le pronostic de la victime indépendamment des soins prodigués. Ainsi comme le décrit Bellamy, la mortalité passe de 20 à 32 % si l'évacuation est retardée de 24h (27).

La rapidité de la prise en charge est d'autant plus importante que le temps écoulé entre la blessure et l'hémostase est inversement proportionnel à la survie des patients (28).

6.5. Mortalité au combat au XXIème siècle

6.5.1. Mortalité avant la première prise en charge médicale ou KIA

Eastridge et al. ont rapporté la cause de 4596 décès au combat en Irak et en Afghanistan entre Octobre 2001 et Juin 2011. 87% de ces décès ont eu lieu avant la première prise en charge médicale (KIA), dont 35% immédiatement et 52 % entre quelques minutes et quelques heures (2). Parmi ces décès, 75,7% ont reçu des blessures létales (NS), et 24,3% ont été jugés évitables (PS).

La physiopathologie de ces décès évitables était largement associée à l'hémorragie (90,9%) devant l'obstruction des voies aériennes (8%). Le site de l'hémorragie mortelle était principalement thoraco-abdominal (67,3%), puis jonctionnel (19,2%) et enfin sur les extrémités (13,5%).

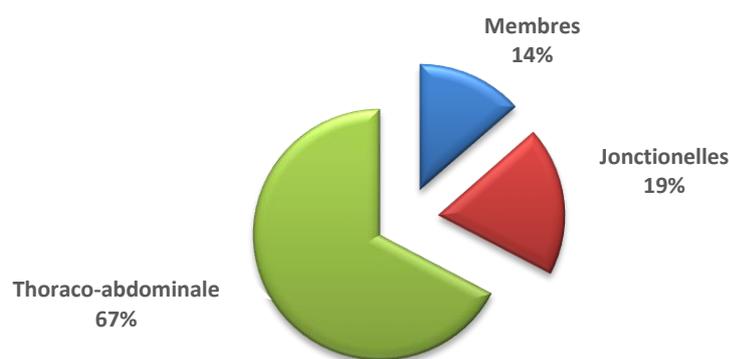


Figure 5 : Répartition anatomique hémorragique des décès évitables pour les KIA selon (2)

L'hémorragie reste ainsi la cause principale de décès évitables survenant avant la première prise en charge médicale. On note la proportion non négligeable des blessures jonctionnelles qui représentent 1 décès sur 5.

6.5.2. Mortalité après la première prise en charge médicale ou DOW

Dans une autre étude, Eastridge et al. se sont penchés sur les cause des décès des militaires qui mourraient des suites de leur blessures après la première prise en charge médicale, en Irak et en Afghanistan de 2001 à 2009 (3).

Sur les blessures létales (NS), les décès étaient essentiellement liés à des traumatismes crâniens. Pour les blessures classées potentiellement évitables (PS), les auteurs ont constaté que 80% de ces décès étaient liés à l'hémorragie, faisant de celle-ci, de loin, la cause la plus fréquente.

Concernant la répartition anatomique de ces décès évitables liés à l'hémorragie, les hémorragies jonctionnelles ont représenté 21 % de ces décès, contre 48% pour les hémorragies thoraco-abdominales et 31% pour celles des extrémités.

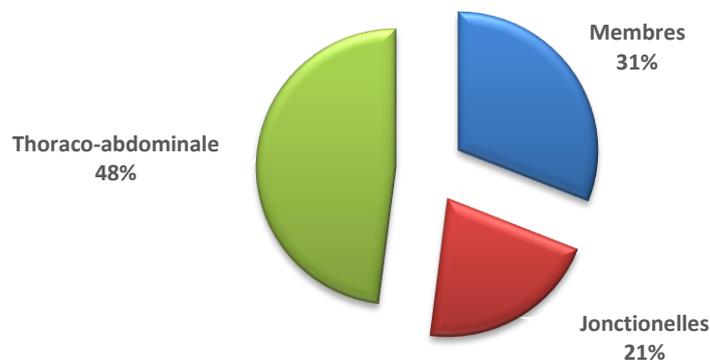


Figure 6 : Répartition anatomique hémorragique des décès évitables pour les DOW selon (3)

6.5.3. Synthèse

L'hémorragie demeure à ce jour la cause de décès évitable la plus fréquente, que ce soit avant ou après la première prise en charge médicale. Les hémorragies jonctionnelles représentent environ 20% de ces décès évitables liés à l'hémorragie, que ce soit avant ou après la première prise en charge médicale.

Ainsi, les enjeux de la prise en charge du blessé hémorragique au combat sont (21) :

- Diminuer le taux de décès avant d'atteindre la première structure de soin (KIA) en limitant au mieux l'hémorragie, pour éviter l'évolution vers un blessé exsangue.
- Diminuer le taux de décès après avoir atteint la première structure de soin (DOW) en restaurant un état physiologique suffisant pour amener un blessé vivant vers une structure chirurgicale.

7. Evolution récente de la mortalité au combat

7.1. Introduction

L'incident de Mogadishu en octobre 1993 relaté dans *Black Hawk Down* a été défini par les spécialistes comme un tournant dans l'histoire de la médecine de guerre. Malbry et al. ont montré que les hémorragies des extrémités étaient la plus fréquente des causes de décès évitables au cours de ce conflit (4).

En conclusion de cette étude, les auteurs soulignent que le seul traitement efficace concernant les hémorragies des extrémités, repose sur l'application précoce d'un tourniquet suivi d'une réparation artérielle chirurgicale.

C'est pourquoi, le garrot de membre ou tourniquet est devenu l'outil indispensable en pré-hospitalier pour contrôler les hémorragies des extrémités. Ces garrots, utilisables en auto-application, font désormais partie intégrante de l'équipement individuel de chaque militaire, projeté en opération extérieure.

7.2. Diminution de la mortalité liée aux hémorragies de membres

Les causes de la mortalité pré-hospitalière sur des blessures potentiellement guérissables ont ainsi connu des bouleversements importants au cours de ces dernières années.

Bien que l'hémorragie reste la principale cause de mortalité, on a pu constater une diminution importante des décès liés aux hémorragies des extrémités, en raison de la généralisation et de la dissémination des tourniquets sur les champs de bataille au cours des années 2000. On estime ainsi que l'utilisation des tourniquets sur les champs de bataille a permis de sauver la vie d'environ 1000 à 2000 militaires américains au cours des conflits modernes (7).

Kragh et al. ont publié trois études prospectives concernant une cohorte de blessés qui sont passés par un Hôpital militaire de Bagdad avec pour critère d'inclusion la pose en urgence d'un tourniquet en préhospitalier ou/et en hospitalier. Les deux premières études ont été réalisées sur une durée de 7 mois de mars à octobre 2006 et ont inclus 232 patients avec 428 garrots posés (5,6). L'utilisation des tourniquets avant l'apparition d'un état de choc est significativement associée à une amélioration du taux de survie (90% vs 10%, $p < 0,001$). Une troisième étude prolonge de 6 mois les deux précédentes, et conduit aux mêmes conclusions (29). On note ainsi une amélioration de la survie si la pose du tourniquet a lieu avant l'apparition d'un état de choc (96% vs 4%, $p < 0,001$), et si la pose a lieu en pré-hospitalier plutôt qu'en hospitalier (89% vs 78%, $p = 0,015$).

Cette baisse de la mortalité est également à mettre au crédit d'un meilleur entraînement à la pose du garrot en hétéro ou auto-application. Cet entraînement est actuellement dispensé à tous les personnels qui sont projetés en opération extérieure. Une étude menée par Kotwal a ainsi mis en évidence, que la mortalité par hémorragie, diminuait dans une unité qui avait bénéficié d'un entraînement intensif à la pose des garrots tourniquets (8).

7.3. Augmentation de la mortalité liée aux hémorragies jonctionnelles

Kelly et al. soulignent également ce résultat en montrant que les décès liés aux extrémités avaient diminué ces dernières années, mais qu'en contrepartie ceux liés aux hémorragies jonctionnelles et non-compressibles avaient augmenté. Les auteurs mettent en cause l'augmentation des blessures par explosion liée aux IED dans les conflits modernes (qui représentent plus de 75% des blessés), causant des blessures plus sévères avec notamment des amputations traumatiques (9).

Singleton et al. ont ainsi étudié les causes de la mortalité de 121 victimes d'IED de 2007 à 2010 en Afghanistan. Il ont ainsi mis en évidence que pour les personnels à pied, les hémorragies jonctionnelles représentaient 22% des causes de décès (10).

Un autre élément d'explication concerne l'évolution de l'équipement qui permet aujourd'hui une meilleure protection du tronc et des membres (14). Les jonctions demeurent cependant libres de tout équipement afin de permettre la mobilité du combattant et restent considérées comme des zones vulnérables. Dans l'étude citée plus haut concernant les causes des décès américains à Mogadishu en 1993 (4), l'évolution de l'équipement de protection est également mise en avant. En comparant ces dernières avec les données épidémiologiques de la guerre du Vietnam, les auteurs ont constaté une augmentation des blessures sur les zones anatomiques non protégées, telles que les jonctions (face, cou, pelvis et aine). Ils ont également remarqué une diminution des blessures thoraciques et abdominales.

Kragh et al. ont également montré que les hémorragies jonctionnelles étaient de plus en plus fréquentes, devenant ainsi la première cause de décès évitables au détriment des hémorragies de membre (14). Elles représentent donc un enjeu majeur pour la médecine de guerre.

En 2009, devant ces constatations, le comité du TCCC américain (Tactical Combat Casualty Care) a donc fait de la recherche pour le contrôle des hémorragies jonctionnelles une priorité.

B. Problématique des hémorragies jonctionnelles

1. Nature et définition des hémorragies jonctionnelles

1.1. Définition et caractéristiques

Concernant la répartition anatomique des localisations hémorragiques on distingue deux grandes familles :

- Les hémorragies **non compressibles**, qui intéressent le thorax, l'abdomen et l'extrémité encéphalique
- Les hémorragies **compressibles** :
 - ⇒ Contrôlables avec des garrots conventionnels de type tourniquet pour les membres
 - ⇒ Non contrôlables avec des garrots conventionnels, ce sont les hémorragies jonctionnelles

Une hémorragie jonctionnelle concerne le plus souvent des vaisseaux artériels de gros calibres, qui réalisent une jonction entre le tronc et les membres ou entre le tronc et la tête. Le terme «jonctionnel» peut ainsi se rapporter à de nombreuses zones anatomiques : l'aîne, les fesses, le périnée, l'aisselle, la région claviculaire ou la base du cou (30).

Une hémorragie jonctionnelle reste donc compressible, mais demeure impossible à contrôler avec un garrot dit « tourniquet ».

1.2. Répartition des hémorragies jonctionnelles

Kragh et al. ont montré que parmi l'ensemble des hémorragies jonctionnelles, celles de la région de l'aîne étaient les plus fréquentes (11). Le contrôle de cette localisation est ainsi devenu un enjeu de recherche majeur.

Une autre étude menée par le même auteur, a décrit rétrospectivement une cohorte de 833 blessures jonctionnelles de 2001 à 2010 (11). Les auteurs ont mis en évidence une grande proportion de blessures jonctionnelles touchant la région de l'aine (Figure 7) : 55% des blessures sont attribuées à des amputations de membres de la hanche au genou et 28% à des lésions artérielles fémorales ou iliaques. Ce qui représente plus de 80% de toutes les localisations anatomiques jonctionnelles étudiées.

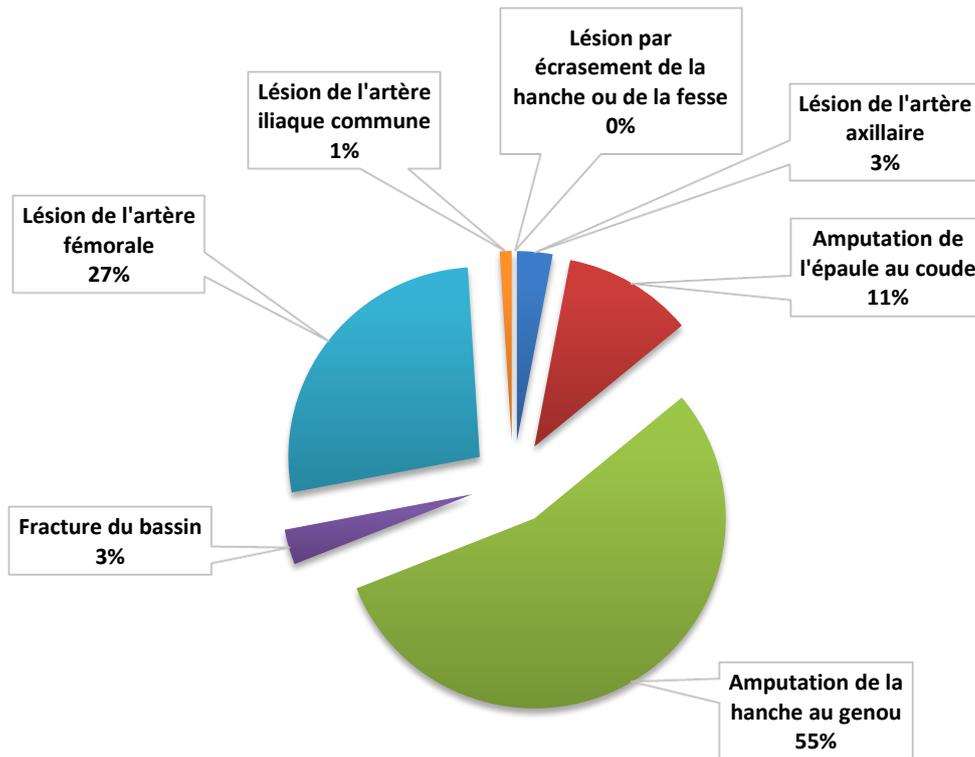


Figure 7 : Répartition anatomique des descriptions diagnostiques des hémorragies jonctionnelles, d'après (11)

1.3. Sévérité des hémorragies jonctionnelles

Cette même étude a également permis de montrer la létalité de ces blessures (11). Sur les 833 blessures étudiées, 17% se sont avérées létales après la première prise en charge médicale. Ces décès sont donc classés dans les blessés décédés des suites de leurs blessures (DOW). Or nous avons pu voir que la proportion de DOW était en moyenne d'environ 5%.

Ces blessures jonctionnelles sont donc plus fréquentes et plus létales que des blessures des extrémités, qui peuvent être contrôlées par des tourniquets conventionnels.

La raison principale de ces caractéristiques est anatomique. En effet le débit sanguin dans une artère, selon la loi de Poiseuille, est proportionnel au rayon de l'artère ainsi qu'à la pression artérielle (31). Ainsi, le débit hémorragique d'une artère jonctionnelle de gros calibre, sera plus rapide et plus important que celui d'une artère des extrémités.

Une étude épidémiologique civile s'est intéressée aux causes de décès des patients polytraumatisés, attribuées à des erreurs de prise en charge (32). Les conclusions de cette étude sont intéressantes puisqu'elles se basent sur une cohorte de 2500 décès sur 44000 patients polytraumatisés inclus de 1996 à 2004. Parmi tous les décès, 64 décès ont été reconnus comme imputables à des erreurs de prise en charge, donc évitables. La cause la plus fréquente de ces décès est attribuée à un contrôle retardé des hémorragies pelviennes ou abdominales, soit 16% de ces décès.

Ces résultats soulignent ainsi l'intérêt d'une prise en charge rapide et efficace, dans le contrôle des hémorragies jonctionnelles, car le décès par exsanguination peut survenir en quelques secondes. Ainsi lors d'une évacuation sanitaire tactique en milieu hostile, s'il s'agit d'un message de type 9-line (OTAN), la mention « trunk » doit être cochée pour une blessure jonctionnelle, relevant le niveau d'urgence vitale.

2. Méthodes utilisées pour le contrôle des hémorragies jonctionnelles en médecine de guerre

2.1. Introduction

Afin de prévenir le choc hémorragique et l'exsanguination, la stratégie principale consiste à clamber ou à comprimer l'artère jonctionnelle en amont de sa blessure, le plus rapidement possible. Il existe plusieurs moyens d'y parvenir mais ils nécessitent le plus souvent une structure hospitalière avec une prise en charge chirurgicale ou en radiologie interventionnelle.

On pense à l'embolisation artérielle sélective réalisé par des radiologues, au clampage artériel sélectif chirurgical, jusqu'à la thoracotomie de sauvetage avec clampage aortique.

Cependant, en médecine de l'avant, peu de méthodes et de consensus permettent à ce jour de proposer une prise en charge optimale. Nous essaierons de détailler les différents dispositifs qui ont été ou sont encore utilisés dans le contrôle des hémorragies jonctionnelles, dans le milieu militaire.

2.2. Compression manuelle

De manière provisoire, une compression à l'aide du genou, du poing ou de la paume de la main est toujours préconisée en première intention en attendant d'utiliser un moyen plus efficace. Ce geste simple peut contribuer à sauver la vie de la victime. Cette compression permet d'atteindre une pression d'environ 180 mmHg sur la plaie, ce qui peut suffire à contrôler une hémorragie de fort débit (33).

Cependant ce geste reste le plus souvent insuffisant en raison des protections du soldat, de l'anatomie des vaisseaux artériels et en particulier de leur profondeur (30). Il est également souvent difficile de maintenir une telle compression dans un environnement hostile.

2.3. Pansements compressifs

Le pansement compressif reste un moyen simple très largement utilisé et développé au cours de ces dernières années. Faisant partie intégrante de la trousse individuelle de chaque combattant, il demeure cependant le plus souvent insuffisant ou inefficace, pour le contrôle d'hémorragies majeures.

Le plus connu est le pansement dit « Israélien » en dotation dans les armées françaises. Il en existe d'autres plus larges comme le pansement de type C ou le pansement OLAES Modular Bandage.

2.4. Pansements hémostatiques

Les pansements hémostatiques ont été développés à la fin des années 1990 et représentent à ce jour, une avancée importante pour la médecine de l'avant.

Leur développement a connu plusieurs évolutions. En effet, on s'est aperçu que la première génération présentait de nombreux effets secondaires comme des brûlures, et se révélait moins efficaces pour le contrôle d'hémorragies importantes. D'autres produits sont donc rentrés récemment sur le marché et ont fait la preuve de leur plus grande efficacité, comme le QuikClot Combat Gauze ® ou l'HemCon ®, qui sont largement répandus dans les forces armées.

Une étude récente menée par Satterly et al. a comparé l'efficacité de 4 de ces pansements sur un modèle porcin, le Celox ®, le QuikClot Combat Gauze ®, le ChitoGauze ® et l'HemCon ®, pour le contrôle d'hémorragies artérielles proximales non garrotables (34). Les résultats de cette étude n'ont pas montré de différence significative pour ces 4 dispositifs, bien qu'il semble que le Combat Gauze ® soit le plus efficace et le plus facile à utiliser. Les auteurs soulignent le bénéfice d'un entraînement spécifique à l'application du pansement, en montrant une augmentation d'efficacité de 20% lorsqu'ils sont appliqués par un personnel entraîné.

Lorsqu'ils sont appliqués sur la blessure, l'hémostase se crée grâce à deux mécanismes. Le premier, physique, repose sur une compression mécanique des tissus et vaisseaux endommagés afin de stopper l'hémorragie. Le deuxième, chimique, permet d'accélérer et de renforcer l'hémostase en délivrant un produit chimique qui active la voie intrinsèque de la coagulation et les plaquettes. Ce deuxième principe sous-entend que leur efficacité repose sur une fonction coagulante intacte du patient, qui peut souvent être altérée par des lésions tissulaires importantes, une hémodilution par une perfusion de solutés, l'hypothermie ou un état de choc hypovolémique avec acidose métabolique.

Kheirabadi a étudié l'efficacité des pansements hémostatiques Combat Gauze ® et WoundStat ® sur des cochons sur lesquels on avait induit une coagulopathie. Les résultats montrent que ces deux dispositifs se révèlent, la plupart du temps, inefficaces pour contrôler

une hémorragie dans ce contexte de coagulopathie. Ainsi, l'auteur en déduit justement qu'une nouvelle génération de pansements s'avère nécessaire afin de prendre en considération ces données. Quelques dispositifs prometteurs à base de fibrinogène sont aujourd'hui à l'étude (35).

Le pansement hémostatique actuel en dotation dans les armées françaises est le Quikclot Combat Gauze ®, composé d'une bande de gaze imprégnée de kaolin. Son format lui permet d'être appliqué sur une plaie de surface comme dans une petite cavité. Il doit être maintenu avec une compression manuelle de 3 à 5 minutes et recouvert d'un pansement compressif (36).

Cependant, ces pansements demeurent cependant le plus souvent insuffisants pour un contrôle optimal d'une hémorragie jonctionnelle.

2.5. Stabilisation pelvienne

Tout blessé instable sur le plan hémodynamique et présentant une probabilité de lésion pelvienne relève dès que possible d'une contention pelvienne. Elle contribue à réduire l'hémorragie occasionnée par un traumatisme fermé du bassin ou une plaie abdomino-pelvienne. Elle peut être réalisée par tous les moyens disponibles, à hauteur des grands trochanters et non des crêtes iliaques. Le dispositif le plus utilisé reste la ceinture pelvienne (36).

2.6. Pantalon antichoc militaire

Dans les années 80-90, l'armée américaine préconise l'utilisation de pantalon antichoc militaire pour le contrôle des hémorragies jonctionnelles de la région pelvienne. Cependant leur efficacité reste controversée et il existe de nombreuses contre-indications à leur utilisation.

Ainsi, Robert et al. dans une étude publiée en 1999 ont mis en évidence l'absence d'amélioration de la survie des blessés avec le pantalon antichoc militaire. Il décrit même une

possible aggravation du pronostic vital (37). Ce dispositif est alors peu à peu abandonné en médecine de guerre.

3. Recommandations françaises

Les recommandations françaises concernant la médecine de guerre sont dispensées dans le « Sauvetage au Combat ». C'est le fruit du travail d'un groupe de réflexion sur l'organisation et la pédagogie de l'enseignement actualisé de la médecine de l'avant et du sauvetage au combat dans le SSA. Les principes retenus sont proches du document de doctrine de l'armée américaine, le « Tactical Combat Casualty Care » (T3C ou TCCC). Ce document est ainsi régulièrement actualisé sous l'égide de l'Ecole du Val de Grâce.

Cet enseignement résolument spécifique est réalisé par les Centres d'Instruction aux Techniques de Réanimation à l'Avant (CITeRA). Le Sauvetage au Combat est un standard de soins permettant à tout combattant, quel que soit son niveau d'emploi, de concourir à la mise en condition de survie d'un blessé de guerre (BG), sans délai et jusqu'à la prise en charge dans une unité médicale opérationnelle (UMO) (36).

Les objectifs de ce standard de soins sont par ordre de priorité :

- La survie du BG
- La maîtrise de l'exposition du personnel engagé
- La poursuite de la mission opérationnelle.

Concernant le contrôle des hémorragies jonctionnelles (pli inguinaux, fesse, périnée, creux axillaire, base du cou), le dernier rapport qui date de janvier 2012, préconise de réaliser une compression manuelle directe, relayée dès que possible par un pansement hémostatique recouvert d'un packing (compresses, pansement compressif, ou tout autre moyen) permettant d'augmenter la pression localement (36).

Cependant, comme nous l'avons vu, ces méthodes ont leurs limites et ne garantissent pas de contrôle optimal de ces hémorragies jonctionnelles. Pour répondre à ce besoin, l'armée

américaine a souhaité le développement de dispositifs compressifs permettant la compression sélective des hémorragies jonctionnelles.

L'idée serait de pouvoir utiliser ce matériel au plus près de la zone de combat, dans un poste de secours de rôle 1 afin de permettre une mise en condition d'urgence avant le transfert vers une structure médico-chirurgicale.

4. Emergence des dispositifs de compression « jonctionnelle »

4.1. Historique

En 1862, Joseph Lister, chirurgien britannique se trouvait confronter à des difficultés pour contrôler l'hémorragie pendant ses chirurgies de la hanche, en utilisant des garrots tourniquets (38). Il eut l'idée de concevoir un objet lui permettant de comprimer directement l'aorte abdominale afin de contrôler l'hémorragie en amont plus efficacement. Il créa un « tourniquet abdominal ».



Photographie 1 : Joseph Lister's Aortic Tourniquet (circa 1862). Hunterian Museum at The Royal College of Surgeons of England. D'après (38).

De l'autre côté de l'atlantique, Joseph Pancoast conçut de manière indépendante et quasi simultanément un tourniquet jonctionnel très similaire à celui de Lister afin de répondre à la même problématique (*Aortic Tourniquet de Pancoast*) (14). Ces deux chirurgiens sont considérés comme les précurseurs de l'utilisation des dispositifs de compression jonctionnelle.

D'autres chirurgiens ont ensuite créé des dispositifs similaires dont le principe reste identique. Le dispositif réalise une compression précise et spécifique d'une artère jonctionnelle, contrairement aux garrots tourniquets dont la compression s'applique à tous les tissus.

Cependant, l'utilisation de ces dispositifs de compression ilio-pelvienne rencontre des difficultés. Ils sont en effet difficiles à positionner correctement, requièrent de bonnes connaissances anatomiques, demeurent peu stables, et ne sont pas toujours très efficaces. Ils ont donc finalement peu à peu été abandonnés de la pratique courante (38).

Pendant la guerre civile américaine, d'autres dispositifs similaires virent le jour. Cependant leur utilité première à cette époque était d'éviter une compression de membre et le risque de gangrène qui en résultait.

Ces dispositifs ont peu à peu été abandonnés de la pratique courante et ce n'est qu'un siècle plus tard à la fin des années 2000, qu'on a pleinement réalisé l'intérêt du travail de Joseph Lister, en développant toute une série de dispositifs de compression jonctionnelle. Ces outils introduits en novembre 2010, commencent à être utilisés progressivement dans les armées occidentales.

Blackbourne et al. ont identifié la conception de ces dispositifs de compression jonctionnelles militaires comme une « révolution dans l'histoire de la médecine militaire » de ces dix dernières années, au même titre que le développement des garrots tourniquets, des pansements hémostatiques, de la prévention de l'hypothermie, de l'amélioration de la logistique autour des rapatriements sanitaires, et de l'apparition du plasma lyophilisé (15). C'est donc une avancée importante pour la médecine militaire.

4.2. Objectif et conditions d'utilisation

A la manière des garrots de membres, les dispositifs de compression jonctionnelles ont pour mission de contrôler l'hémorragie sur les champs de bataille afin d'augmenter les chances de survie de la victime, avant la première prise en charge chirurgicale.

Ils devront être utilisés par un médecin ou par un auxiliaire sanitaire sous la supervision d'un médecin, car ils nécessitent de bonnes connaissances anatomiques. Dans tous les cas, les dispositifs devront être posés par des personnels expérimentés, ayant reçu un entraînement spécifique afin de permettre une mise en place rapide, adaptée et efficace.

Selon Kragh et al., les conditions optimales que doivent réunir ces dispositifs de compression jonctionnelle sont (14):

- Arrêter efficacement l'hémorragie jonctionnelle
- Pouvoir comprimer des zones non compressibles par des garrots de membres
- Facile à utiliser, ne nécessitant pas de formation particulière
- Pratique d'utilisation en pré-hospitalier dans un environnement hostile
- Petit, léger, bon marché
- Rapidement mis en place
- Longue durée de vie
- Ne pas glisser lors du transport
- Permettre une décompression rapide

Comme les garrots tourniquets, l'utilisation des dispositifs de compression jonctionnelles s'effectuera d'abord dans les forces spéciales militaires avant de l'être de manière progressive au sein des forces militaires conventionnelles. Les premières unités américaines ont ainsi commencé à en être dotées en novembre 2010.

5. Présentation des dispositifs de compression jonctionnelle

5.1. Introduction

Il existe à ce jour, 4 dispositifs permettant le contrôle des hémorragies jonctionnelles en médecine de guerre, qui ont été approuvés par la FDA américaine :

- Le *Combat Ready Clamp*® (Combat Medical Systems)
- L'*Abdominal Aortic and Junctional Tourniquet*® (Compression Works)

- Le *Junctional Emergency Treatment Tool* ® (North American Rescue Products)
- Le *SAM Junctional Tourniquet* ® (SAM Medical Products)

Ces outils ont la caractéristique commune de ne pas nécessiter une compression manuelle supplémentaire, permettant au médecin d'avoir les mains libres et de prendre en charge d'autres victimes.

Nous présenterons successivement ces dispositifs dans l'ordre de leur autorisation de commercialisation par la FDA, et nous relaterons les rares cas de leur utilisation en condition réelle, rapportées dans la littérature jusqu'en octobre 2014.

5.2. Combat Ready Clamp ® (CRoC)



Photographie 2 : Représentation du dispositif jonctionnel CROC

5.2.1. Présentation et indications

Directement inspiré du tourniquet abdominal de Lister (cf Photographie 1), le CRoC est le premier dispositif à être approuvé par la FDA le 11 août 2010, pour le contrôle des hémorragies jonctionnelles dans la région inguinale, lorsque les garrots tourniquets ne peuvent être appliqués ou lorsque les autres méthodes se révèlent inefficaces (39).

Ce dispositif complet dispose d'une structure en aluminium. L'avantage du CRoC repose dans son petit volume (avec un poids autour de 800g), sa facilité d'utilisation et son rangement ergonomique (39).

Il existe deux manières d'utiliser le CRoC soit en pression directe sur la blessure, soit en pression proximale dans le contrôle des hémorragies des membres inférieurs ou supérieurs non contrôlées par des garrots tourniquets. On applique alors le CRoC sur le ligament inguinal, c'est-à-dire au milieu d'une ligne qui rejoint l'épine iliaque antéro-supérieure au pubis.

De manière générale, il suffit de positionner la base plane sous la victime à l'endroit désiré pour réaliser la pression. On s'assure que le bras vertical est bien au contact de la victime à proximité de la localisation de la blessure. On ajuste le bras horizontal pour positionner le disque de pression en fonction de la méthode choisie, et le bras vertical pour s'assurer que le disque de pression soit bien au contact de la blessure. On applique alors une pression sur la blessure en tournant la poignée de pression dans le sens des aiguilles d'une montre, jusqu'à ce que le saignement s'arrête. On attache alors la bretelle de sécurité et on note l'heure de pose du CRoC.



Photographie 3 : Application du dispositif jonctionnel CRoC en application inguinale

C'est également le premier dispositif à être approuvé par la FDA le 29 avril 2013 pour une utilisation dans le contrôle des hémorragies jonctionnelles en région axillaire (40).

Son temps d'application ne devrait pas excéder 4 heures (41).

Ce dispositif a pu être testé avec succès sur un modèle porcin, sur lequel on avait induit une coagulopathie. Le CRoC a ainsi pu contrôler l'hémorragie de 6 animaux pendant 1 heure. L'investigateur a ensuite enlevé les dispositifs, et 5 animaux sur les 6 sont morts exsangues en moins d'une heure en dépit d'une réanimation intraveineuse. Le temps de montage et d'application du CRoC dans cette étude a été évalué entre 1 et 2 minutes (39).

Kragh et al. ont pu tester le dispositif sur des cadavres pour évaluer la capacité du CRoC à contrôler plusieurs blessures hémorragiques. Les auteurs ont ainsi pu montrer l'efficacité du CRoC à contrôler l'hémorragie d'une blessure inguinale simple, de deux blessures hémorragiques homolatérales provenant de l'artère iliaque commune ou encore de deux blessures hémorragiques bilatérales en comprimant la bifurcation entre l'aorte et la naissance des deux artères iliaques communes (42).

Man-Salinas et al., dans une étude, ont montré l'efficacité de ce dispositif sur des mannequins posés sur 3 surfaces différentes : dur et plat (comme un plancher ou le sol), souple et plat (comme un lit d'hôpital) et souple et incurvé (comme une civière OTAN). Le CRoC a montré son efficacité optimale en stoppant l'hémorragie à chaque reprise. On constate que la surface utilisée a modifié le temps nécessaire pour arrêter le saignement de quelques secondes. Ainsi le temps de pose sur la surface souple et plane (lit, $55 \pm 9,7$ secondes) ou sur la surface dure et plane (sol, $58 \pm 9,5$ secondes) était significativement plus court que celui réalisé sur la surface souple et incurvée (civière, $65 \pm 16,5$ secondes) (43).

Une étude menée par Cotte et al. sur l'Hôpital des Instructions des Armées Sainte Anne à Toulon, a évalué l'efficacité du CRoC sur une population de 30 volontaires sains, en mesurant le flux doppler d'aval au niveau de l'artère poplitée. L'efficacité mesurée était de 96,7% soit 29 sujets sur les 30. Le seul échec est probablement lié, selon les auteurs au surpoids du sujet qui présentait un IMC à 36 kg/m^2 (44).

Ce dispositif ressemble au FemoStop[®] utilisé dans le milieu civil, notamment pour contrôler les hémorragies de l'artère fémorale après des gestes d'artériographie ou de

coronarographie. Le FemoStop[®] présente un mode de compression pneumatique, et contrairement au CRoC, son volume est trop grand pour être transporté dans un sac médical et sa surface de compression ne lui permet pas de générer autant de pression que le CRoC pour le contrôle de larges blessures jonctionnelles (39).

5.2.2. Cas clinique

Le seul cas rapporté dans la littérature est celui d'un afghan qui a été blessé par une explosion en 2011, lui causant une amputation très proximale de sa jambe gauche. En état de choc à sa prise en charge, un CRoC a été posé par un médecin américain, directement sur la blessure hémorragique inguinale après avoir assuré une compression manuelle. Le dispositif a été préparé et posé en 90 secondes selon l'auteur, et a permis de stopper l'hémorragie. A l'arrivée à l'hôpital afghan, le patient a été trié comme ne pouvant être pris en charge immédiatement et le CRoC lui a été enlevé, causant son décès (45).

Il existerait d'autres cas qui rapportent une utilisation efficace du CRoC au combat en Afghanistan, mais aucun n'a été publié dans la littérature (41).

5.3. Abdominal Aortic and Junctional Tourniquet[®] (AAJT)



Photographie 4 : Représentation du dispositif AAJT

5.3.1. *Présentation et indications*

L'Abdominal Aortic and Junctional Tourniquet est une ceinture pneumatique qui permet de délivrer une pression constante sur une zone précise pendant une durée prolongée. On note que contrairement aux trois autres dispositifs, l'AAJT avait un mécanisme de compression tronculaire, puisque le site de compression était initialement uniquement aortique dans sa portion infra-rénale. Ce dispositif a donc été approuvé par la FDA pour le contrôle des hémorragies pelviennes, et des hémorragies des membres inférieurs depuis le 18 octobre 2011. De récentes modifications ont été publiées en 2013 par la FDA, validant son utilisation au niveau jonctionnel, transformant son nom d'Abdominal Aortic Tourniquet (AAT) en Abdominal Aortic and Junctional Tourniquet (AAJT) (46).

5.3.1.1 *Utilisation aortique*

Il a d'abord montré son efficacité sur un modèle porcin avec une occlusion efficace et sans complications pendant 1 heure. Il peut être installé en moins d'une minute par un utilisateur entraîné. La ceinture est installée autour de l'abdomen avec la partie gonflable contre l'ombilic. La boucle est accrochée manuellement, puis le dispositif est serré par l'utilisation d'une sangle. La vessie pneumatique est ensuite gonflée manuellement pour obtenir une compression artérielle, au niveau de la bifurcation de l'aorte abdominale dans sa partie infra-rénale. De facto, et contrairement aux autres dispositifs, son mode de compression tronculaire entraîne une absence de flux artériel pour les deux artères iliaques externes, ce qui est intéressant en cas de blessures hémorragiques bilatérales (46).

Par sa compression aortique, les artères iliaques internes et leurs branches seront également occluses. C'est donc le seul dispositif qui dispose de l'indication pour le contrôle des hémorragies pelviennes (46).

Il a également la possibilité de stabiliser le bassin en cas de fractures pelviennes. L'application efficace et sans complications de ce dispositif au niveau aortique, ne doit pas excéder 1 heure. Ce dispositif est contre-indiqué pour les femmes enceintes, pour les patients avec des anévrismes de l'aorte abdominale et pour les blessures abdominales pénétrantes (46).

Une étude réalisée par Taylor et al. en octobre 2012 a évalué l'efficacité de ce dispositif appliqué au niveau aortique sur 16 volontaires sains pour le contrôle des hémorragies pelviennes et des membres inférieurs (47). L'efficacité totale, mesurée par une absence de flux artériel d'aval au doppler était retrouvée dans 94% des cas. L'étude montre une bonne tolérance du dispositif et ne rapporte aucune complication.

5.3.1.2 Utilisation jonctionnelle

Lyon et al. ont évalué l'efficacité du dispositif utilisé cette fois sélectivement au niveau inguinal sur 9 volontaires sains. Une absence de flux artériel au niveau de l'artère fémorale commune droite était obtenue pour 7 des 9 sujets (77,8% des cas), pour une pression moyenne de 180 mmHg. Les auteurs soulignent que la douleur ressentie variait de modérée à sévère, mais disparaissait complètement lorsqu'on enlevait le dispositif (48).

Une étude menée par Georgia Health Science University (GHSU) en 2013 a utilisé ce dispositif en axillaire sur 13 volontaires sains avec 100 % d'efficacité (46).

Ainsi depuis le 6 décembre 2013, la FDA a validé quelques modifications. Son utilisation est tout d'abord autorisée en région inguinale avec une compression sur l'artère fémorale commune et en axillaire avec une compression sur la partie proximale de l'artère sous-clavière (46).



Photographie 5 : Photographie d'un mannequin avec le dispositif AAJT placé en position inguinale et axillaire

D'autre part, sa mise en place que ce soit en axillaire ou en inguinal peut être maintenue efficacement pendant 4 heures. Ensuite, il n'y a plus de délai maximal avant son retrait, qui est laissé au seul jugement du médecin. Enfin il n'y a plus de contre-indications absolues pour les blessures abdominales pénétrantes, mais la prudence reste de mise dans cette indication. Ce dispositif reste cependant contre-indiqué pour les femmes enceintes et pour les patients avec des anévrismes de l'aorte abdominale (46).

Une des particularités de ce dispositif est que son efficacité totale nécessite moins de pression que les autres dispositifs, en raison de sa plus grande surface d'application. Ceci réduit le risque de complications tissulaires et nerveuses à moyen terme (46).

Concernant les critiques qui lui sont faites, certains médecins jugent que la plupart des victimes sur les conflits modernes présentent souvent des blessures pénétrantes intra-abdominales associées aux blessures jonctionnelles, compliquant l'utilisation sereine de l'AAJT. Certains reprochent également la courte durée d'application recommandée, ou l'inconfort noté lors des expériences. Enfin quelques utilisateurs ont remis en cause la solidité de l'AAJT, signalant l'avoir déjà cassé dans leurs expériences ou pendant des entraînements (41).

5.3.2. *Cas clinique*

Un cas est rapporté par un médecin militaire qui souhaite rester anonyme pour des raisons opérationnelles (49). La victime avait une amputation traumatique bilatérale de ses membres inférieurs. A sa prise en charge, avant d'être chargé dans un hélicoptère, le patient est inconscient avec un pouls carotidien non palpable. Des garrots tourniquets ont été placés à la racine des deux membres, mais le médecin note une mare de sang entre ses jambes traduisant une hémorragie pelvienne. Le médecin applique l'AAJT, après l'avoir intubé et posé une voie intra-osseuse. Il lui délivre ensuite une transfusion sanguine et plasmatique, associée à des amines vasopressives. A son arrivée aux urgences, le blessé retrouve un pouls carotidien. Il a survécu.

Un cas datant de 2013, relaté par Croushorn et al., a montré l'efficacité de l'utilisation d'un AAJT en axillaire alors que l'indication n'avait pas encore été validée par la FDA (50). La victime civile de 41 ans avait une blessure par arme à feu, au niveau de la région axillaire gauche. Au moment de la pose du dispositif, la victime était en état de choc hémorragique. L'application du dispositif lui a sauvé la vie.

Enfin le même auteur relate le cas d'un homme de 21 ans, qui présente deux blessures par arme à feu, une sur le membre inférieur droit et une sur le gauche. Cette dernière très proximale, est localisée sur la face médiale supérieure de la cuisse. Il est noté des pertes sanguines importantes avec un patient en état de choc hémorragique. Un garrot tourniquet de type CAT lui est appliqué, puis un deuxième, côte à côte, mais sans efficacité totale, et avec un inconfort important pour le patient. Un dispositif AAJT est alors mis en place et permet un contrôle optimal sur la blessure. Les deux garrots tourniquets sont laissés en place mais desserrés. L'auteur signale que le patient supporte mieux ce dispositif que les deux garrots tourniquets. L'issue est ensuite favorable pour le patient (51).

5.4. Junctional Emergency Treatment Tool ® (JETT)



Photographie 6 : Représentation du dispositif jonctionnel JETT

5.4.1. Présentation et indications

Le Junctional Emergency Treatment Tool a été approuvé par la FDA le 3 janvier 2013 pour le contrôle en préhospitalier, de blessures hémorragiques jonctionnelles pour les membres inférieurs, dans l'environnement militaire ou civil (52).

Ce dispositif est composé d'une ceinture pelvienne associée à deux « pads » de pression avec des poignées en T, afin de permettre une occlusion artérielle uni ou bilatérale et stopper le flux vers les membres inférieurs. Le dispositif est léger, résistant, compact et relativement bon marché. Il est également facile à utiliser, en étant préassemblé (52).



Photographie 7 : Application bilatérale du dispositif jonctionnel JETT en position inguinale

L'indication principale de ce dispositif est le contrôle des blessures proximales des membres inférieurs où les garrots tourniquets ne peuvent être appliqués et/ou sont inefficaces. Il peut être utilisé aussi comme une ceinture pelvienne pour le contrôle des fractures pelviennes, bien qu'il n'en ait pas encore l'indication. Une étude qui va être prochainement publiée, devrait confirmer cette nouvelle indication d'après le Dr Holcomb (41). C'est le seul dispositif à ne pas disposer de l'indication d'une utilisation axillaire.

Le JETT a été conçu pour permettre le transport du patient dans n'importe quelle condition avec un système de lanière et stoppeur pour éviter que le dispositif ne se déplace en cas de vibrations ou de chocs pendant le transport.

Son temps d'application ne devrait pas excéder 4 heures (41).

Une étude menée par Gates et al. ont comparé le JETT au CRoC (premier dispositif à avoir montré son efficacité et à être approuvé par la FDA), sur des cadavres perfusés, pour le

contrôle d'hémorragies bilatérales au niveau de l'artère fémorale commune (53). Au cours de cette étude, les deux dispositifs étudiés ont permis de contrôler efficacement et de manière comparable toutes les hémorragies. Les auteurs soulignent cependant une vitesse d'application plus rapide du JETT par rapport au CRoC. Ils notent également l'intérêt du JETT permettant une compression bilatérale contrairement au CRoC.

5.4.2. Cas clinique

Deux cas ont été rapportés mais non publiés, par le Dr John Holcomb, d'une utilisation efficace du JETT dans le milieu civil (41).

Il y a eu une utilisation du JETT sur une victime militaire américaine atteinte d'une blessure hémorragique jonctionnelle rapportée mais non publiée par Mr Ricardo Flores. Celle-ci n'a cependant pas survécu (41).

5.5. SAM Junctional Tourniquet® (SJT)



Photographie 8 : Représentation du dispositif jonctionnel SJT

5.5.1. Présentation et indications

Le SAM Junctional Tourniquet a été conçu pour le contrôle des hémorragies jonctionnelles en cas d'impossibilité d'appliquer un tourniquet, sur des blessures complexes causées par des agents explosifs, ou sur des amputations de membres très proximales (54).

Il est composé d'une ceinture pelvienne, accompagnée de deux dispositifs compressifs gonflables et amovibles appelés Target Compression Devices (TCDs), d'une pompe à main et d'une sangle accessoire stabilisatrice. Le TCD est placé sur la blessure ou en position plus

proximale, puis gonflé jusqu'à l'arrêt de l'hémorragie. Deux TCDs peuvent être utilisés afin de permettre un contrôle bilatéral en cas de besoin. Il a l'avantage d'être compact, facile à utiliser et rapide de mise en place. Il a également un système de fixation qui lui permet une grande stabilité pendant le transport.



Photographie 9 : Application bilatérale du SJT au niveau inguinal

Ce dispositif a été approuvé par la FDA en région inguinale le 18 mars 2013 et plus récemment pour le contrôle des hémorragies jonctionnelles en région axillaire le 24 juillet 2013. Son temps d'application ne devrait pas excéder 4 heures (41).

Le SJT a également reçu l'approbation pour être utilisé comme contention dans la stabilisation des fractures pelviennes. C'est actuellement le seul des dispositifs de compression jonctionnelle à avoir reçu cette accréditation par la FDA. Une étude menée par Cross et al. en Afghanistan, a en effet montré que les amputations traumatiques des membres inférieurs étaient très souvent associées à des fractures du bassin, justifiant cette indication. Les patients qui avaient une amputation bilatérale traumatique au-dessus des genoux, avaient ainsi 39% de risque d'avoir une fracture pelvienne associée (55).

Une étude menée par Johnson, a montré l'efficacité et la sécurité du SJT sur un modèle de cadavres perfusés, en inguinal et en axillaire (56). Six tentatives ont été effectuées en axillaire et en inguinale en comparant avec une pression manuelle. L'efficacité dans chaque

cas était totale, pour des pressions plus faibles avec le SJT qu'en manuel. Ainsi en inguinal, la pression moyenne pour stopper le flux artériel de l'artère iliaque externe pour le SJT était de 107 mmHg, alors qu'en pression manuelle elle était de 139 mmHg. Ces résultats montrent tout l'intérêt de ce dispositif. Les auteurs soulignent cependant que ces résultats sur cadavres ne peuvent être transposés similairement sur des êtres vivants.

5.5.2. Cas clinique

Le premier cas rapporté dans la littérature date de janvier 2014 (57). C'est celui d'un militaire afghan d'une vingtaine d'année, qui a reçu une blessure par balle à la racine proximale de la cuisse gauche lors d'un accrochage avec des insurgés en Afghanistan. A son arrivée dans une structure médicale tenue conjointement par des Afghans et des Américains, la victime est alerte et consciente. Un garrot tourniquet (CAT) lui a été posé sur le terrain, mais qui s'avère être après examen, trop distal par rapport à la blessure. Le CAT est enlevé, et après une compression manuelle de 3 minutes associée à la mise en place d'un pansement hémostatique de type Combat Gauze, un dispositif SJT est posé sur une zone proximale par rapport à la blessure. Puis le patient est transféré en MEDEVAC vers une structure médico-chirurgicale afghane pour y être opéré en urgence. Il nécessitera la transfusion de 10 unités de CGR pendant l'intervention. Son état lui permet ensuite d'être transféré vers une structure hospitalière afghane qu'il quittera 5 jours plus tard complètement rétabli.

5.6. Synthèse

Voici en résumé, les caractéristiques principales des 4 dispositifs de compression mécanique jonctionnelles, approuvé par la FDA.

	Abdominal Aortic and Junctional Tourniquet	Combat Ready Clamp	Junctional Emergency Treatment Tool	SAM Junctional Tourniquet
Acronyme	AAJT	CRoC	JETT	SJT

Fabricant	Compression Works	Combat Medical Systems	North American Rescue Products	SAM Medical Products
Siège : Ville/Etat	Hoover/AL	Fayetteville/NC	Greer/SC	Wilsonville/OR
Date de validation par la FDA (inguinal et axillaire)	18 octobre 2011 et 6 décembre 2013	11 août 2010 et 29 avril 2013	3 janvier 2013	18 mars 2013 et 24 juillet 2013
Coût en Dollars (USD)	572	654	225	279
Poids (gramme)	485	799	651	499
Volume (Litre)	1,4	0,8	1,6	1,5
Utilisation en région axillaire	Oui	Oui	Non	Oui
Indications	Contrôle des hémorragies pour des blessures des régions inguinales et axillaires et sur la racine proximale des membres, lorsque les garrots tourniquets sont inefficaces. Contrôle des hémorragies pelviennes.	Contrôle des hémorragies pour des blessures des régions inguinales et axillaires, et sur la racine proximale des membres, lorsque les garrots tourniquets sont inefficaces.	Contrôle des hémorragies pour des blessures au creux inguinal et sur la racine proximale des membres inférieurs, lorsque les garrots tourniquets sont inefficaces.	Contrôle des hémorragies pour des blessures des régions inguinales et axillaires, et sur la racine proximale des membres, lorsque les garrots tourniquets sont inefficaces. Contention des fractures pelviennes.
Contre-indications	Femme enceinte, Anévrisme Aorte Abdominale, (Traumatisme pénétrant intra-abdominal)	N/A	N/A	N/A

Tableau 1 : Dispositifs de compression jonctionnelle approuvés par la FDA pour le contrôle des hémorragies jonctionnelles d'après (41) et (58)

6. Comparaison expérimentale des dispositifs jonctionnels

Kragh et al. ont choisi d'évaluer en laboratoire, l'utilisation de ces dispositifs jonctionnels et de comparer leur efficacité sur un mannequin perfusé (59). Une blessure à la racine proximale de la cuisse droite, avec lésion de l'artère fémorale commune, a été induite sur le mannequin. Le point de compression était défini sur le pli de l'aîne, soit 3 cm au-dessus de la partie proximale de la blessure. Le critère d'efficacité était l'arrêt du « flux artériel » au niveau de la blessure. Ont été comparées, une compression digitale, une compression manuelle, une compression avec le genou, une compression avec un poids de 50 livres soit 22,6 kg (Kettlebell), une compression avec le CRoC, une compression avec le SJT, une compression avec le JETT et une compression avec l'AAJT.

Les résultats de cette étude réalisée sur mannequins, ont prouvé l'efficacité totale de chaque dispositif à chaque essai, dans des temps relativement courts et avec des pertes sanguines modérées. Le volume des pertes sanguines ainsi que le temps nécessaire pour arrêter l'hémorragie sont cependant différents et ont été rapportés dans les tableaux 2 et 3, et figures 8 et 9.

	Nombre d'essais (N)	Pertes sanguines (médiane en mL)	Pertes sanguines (moyenne en mL)	Pertes sanguines (minimale en mL)	Pertes sanguines (maximale en mL)
Compression digitale	10	98	96	60	155
Compression manuelle	10	24	239	160	300
Compression avec le genou	10	228	251	155	520
Kettlebell (22,6 kg)	10	128	140	115	240
CRoC	54	575	581	400	1150
SJT	6	28	35	21	80
JETT	10	175	342	50	1380
AAJT	10	748	787	435	1070

Tableau 2 : Volume des pertes sanguines d'après (59)

	Nombre d'essais (N)	Temps (médiane en s)	Temps (moyenne en s)	Temps (minimale en s)	Temps (maximale en s)
Compression digitale	10	8	9	5	17
Compression manuelle	10	26	27	17	41
Compression avec le genou	10	40	40	34	50
Kettlebell (22,6 kg)	10	29	29	26	34
CRoC	54	58	59	40	102
SJT	6	26	26	25	29
JETT	10	31	41	21	80
AAJT	10	104	102	87	117

Tableau 3 : Temps nécessaire pour stopper l'hémorragie d'après (59)

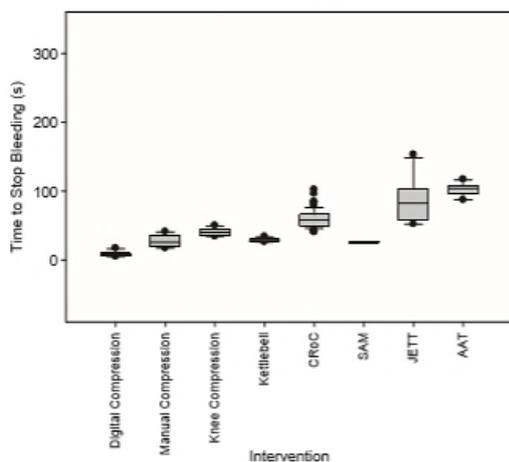


Figure 8 : Temps nécessaire pour stopper l'hémorragie par intervention, d'après (59)

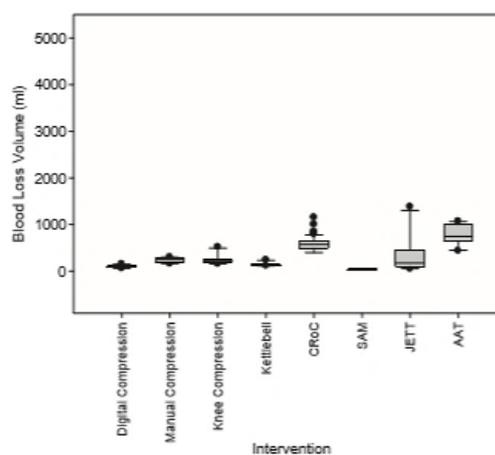


Figure 9 : Volume des pertes sanguines par intervention, d'après (59)

Les méthodes manuelles ou avec le poids semblent rapides et efficaces, mais elles demeurent difficiles à maintenir, voire impossible lors de la mobilisation de la victime.

On note d'après ces résultats que le SJT semble le plus rapide et le plus efficace des dispositifs jonctionnels à mettre en place, avec un temps moyen de 26 secondes (min : 25s, max : 29s), entraînant des pertes sanguines moyennes de 35 mL (min : 21mL, max : 80mL).

Ces données laissent supposer que dans ces conditions, le SJT semble le plus rapide à appliquer et le plus efficace. Contrairement aux autres dispositifs de compression jonctionnelle, on note un très faible écart entre le temps minimal et maximal d'application, mais également entre les pertes sanguines minimales et maximales. Ceci révèle que le SJT est le moins sujet aux erreurs dans sa mise en place.

Les conclusions de cette étude expérimentale réalisée uniquement sur mannequin sont à nuancer et ne doivent pas être transposées à des conditions réelles, comme le soulignent les auteurs (59).

7. Recommandations américaines

Plusieurs auteurs impliqués dans la recherche de ces dispositifs, ont proposé une prise en charge des hémorragies jonctionnelles à partir d'un consensus établi l'été 2013, sur les principaux dispositifs existants. Ces recommandations ont été proposées au TCCC (Tactical Combat Casualty Care Guidelines) et validées à l'issue (41).

Concernant tout d'abord le dispositif à choisir, le comité ne recommande pas spécifiquement l'utilisation d'un dispositif à cause de l'absence de preuve scientifique qui prouverait la supériorité de l'un par rapport à l'autre. Cependant, en raison de la courte durée d'application recommandée pour l'AAJT, de ses contre-indications (traumatisme abdominal pénétrant...) et de son utilisation plus tronculaire que jonctionnelle, le comité du TCCC propose de choisir entre le CRoC, le JETT et le SJT. Les auteurs soulignent l'intérêt du SJT dans le contrôle des fractures pelviennes qui sont souvent associées.

Le comité du TCCC propose la prise en charge suivante, que ce soit sur un champ de bataille ou pendant l'évacuation du blessé : « Si le site hémorragique est approprié pour l'utilisation d'un dispositif de compression jonctionnelle, appliquez immédiatement un des dispositifs recommandés par le TCCC. Ne retardez pas son application si le dispositif est prêt à être utilisé. Si vous n'avez pas de dispositif jonctionnel ou s'il n'est pas encore prêt à être

utilisé, appliquez un pansement hémostatique de type Combat Gauze associé à une pression manuelle directe » (41).

La décision de retirer le dispositif jonctionnel ne doit se faire qu'en cas d'intervention chirurgicale immédiate possible. Cette prise en charge peut inclure une occlusion vasculaire chirurgicale ou un geste d'embolisation endovasculaire (41).

Il est donc recommandé lorsque l'hémorragie n'est pas contrôlable par un garrot tourniquet, que ce soit au niveau des membres ou au niveau jonctionnel, de réaliser une pression manuelle directe associée à l'application d'un pansement hémostatique de type Combat Gauze, avant d'appliquer sans délai un dispositif de compression jonctionnelle. Cette prise en charge initiale permettra de minimiser les pertes sanguines et de préparer la mise en place du dispositif.

8. Choix pour l'étude

Nous avons choisi pour cette étude de comparer deux des quatre dispositifs de compression jonctionnelle.

En premier lieu, nous avons décidé de prendre le CRoC, actuellement en dotation dans l'armée française pour les rôles 1 en OPEX, et considéré par la littérature comme le « gold standard ». Cet outil a été reconnu par de nombreuses études comme étant efficace et a fait ses preuves dans des conditions opérationnelles. C'est également le premier dispositif conçu et approuvé par la FDA pour le contrôle des hémorragies des membres inférieurs lorsque les garrots tourniquets sont insuffisants.

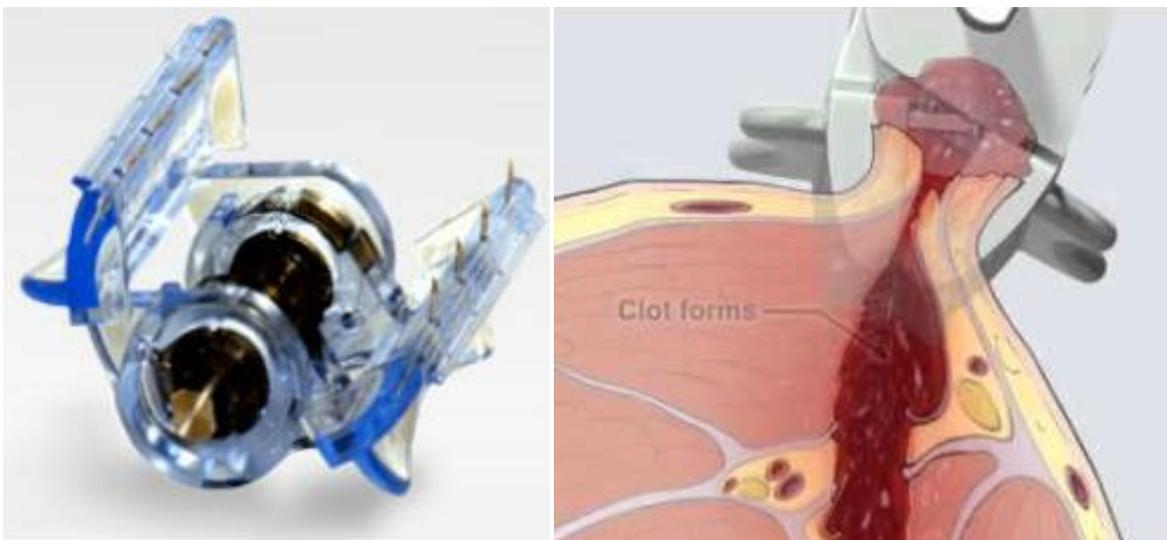
Le deuxième dispositif choisi est le SJT, validé récemment par la FDA pour les mêmes indications que le CRoC. Cet outil nous a semblé comporter de nombreux avantages par rapport aux autres dispositifs :

- Meilleure efficacité expérimentale sur mannequin d'après Kragh et al. (59)
- Une possibilité de bilatéralisation de la compression

- L'indication validée par la FDA, de pouvoir être utilisé comme une ceinture pelvienne
- Un coût plus faible
- Un poids plus léger

9. Perspectives d'avenir pour le contrôle des hémorragies jonctionnelles

9.1. iTClamp 50[®]



Photographie 10 : Représentations de l'iTClamp

L'iTClamp 50 a été conçu récemment par un laboratoire américain (iTraumaCare[®]), comme un dispositif permettant temporairement le contrôle d'hémorragies sévères, sur des blessures ouvertes dans des zones compressibles. Il permet de rapprocher efficacement les berges d'une plaie, et de maintenir l'hémorragie sous pression, favorisant la formation d'un caillot stable permettant l'hémostase. Il a l'avantage d'être efficace, rapide, compact (5 x 5 cm), léger (85 grammes) et facile d'utilisation.

Ce dispositif a montré son efficacité sur un modèle porcin pour le contrôle d'hémorragies jonctionnelles du pli de l'aîne, et a été validé par la FDA en mars 2013 (60).

Une autre étude rapporte l'utilisation avec succès de l'iTClamp 50 en situation réelle, pour deux militaires avec une blessure par balle de la racine proximale de la cuisse entraînant une lésion de l'artère fémorale. L'hémostase a été obtenue de manière rapide et efficace par l'application de l'iTClamp au niveau de la blessure (61).

9.2. TourniCath®



Photographie 11 : Représentation du TourniCath

Le TourniCath est un nouveau dispositif conçu pour le contrôle des hémorragies jonctionnelles, non garrotables. Il est composé d'un fin cylindre, dont la paroi est doublée d'un ballon gonflable, associé à un guide rigide, qui va comprimer la blessure interne et ainsi stopper l'hémorragie. Cet outil a l'avantage d'être rapidement mis en place, facile à insérer en raison de son extrémité arrondie, lisse et fine (celle d'un doigt) et du guide.

Une fois inséré et le guide retiré, le ballon est gonflé à une pression autour de 90 à 150 mmHg. Le volume maximum possible est de 400 mL, permettant le contrôle de la plupart des blessures de cette localisation anatomique. Il n'est pas indiqué pour le contrôle des blessures abdominales ou thoraciques (62).

9.3. XStat®



Photographie 12 : Représentation de l'XStat, et de schématisation de son utilisation

Récemment approuvé par la FDA, l'XStat est un dispositif qui permet, à l'aide d'une seringue, d'injecter dans une blessure hémorragique un nombre important de petites éponges, non absorbables, qui gonflent rapidement au contact du sang. Au contact de la blessure, les éponges vont ainsi gonfler en moins de 20 secondes, remplir l'espace et réaliser temporairement l'hémostase.

Ce dispositif est indiqué pour le contrôle des hémorragies jonctionnelles de la région inguinale ou axillaire, non garrotables. L'XStat peut être appliqué pendant maximum 4 heures avant la prise en charge chirurgicale. Ce dispositif n'est pas indiqué pour le contrôle des blessures abdominales ou thoraciques. Cet outil est actuellement en pré-production et sera prochainement commercialisé (63).

9.4. Stimulation électrique

Une étude récente menée par Mandel et al., a permis de mettre en évidence les effets d'une courte impulsion électrique pour induire une vasoconstriction significative sans effet thermique, dans le cadre d'une hémorragie non compressible, sur des rats.

L'impulsion électrique de quelques microsecondes permet une vasoconstriction en quelques minutes, ce qui entraîne la formation d'un caillot sanguin permettant une occlusion artérielle efficace et l'arrêt de l'hémorragie. Lors des expériences, les pertes sanguines étaient ainsi 7 fois moins importantes après l'utilisation de cette technique, pour une hémorragie non compressible au niveau de l'artère fémorale (64). Cette technique prometteuse semble ouvrir de nombreuses perspectives pour le contrôle des hémorragies jonctionnelles.

III. Matériels et méthode

1. Objectifs

L'objectif principal de cette étude a été de comparer l'efficacité de deux dispositifs de compression jonctionnelle, *Combat Ready Clamp* (CRoC) et *SAM Junctionnal Tourniquet* (SJT), placés au creux inguinal lorsque le garrot tourniquet de type *SOFTT* ne suffit pas à interrompre le flux artériel.

Le but de cette étude est de proposer à la dotation des formations médicales en OPEX, le dispositif de compression ilio-fémorale le plus efficace. Il pourrait s'agir d'une compétence Sauvetage au Combat de niveau 3 (SC3, médecin ou infirmier).

2. Critères de jugement

Le critère de jugement principal a été l'efficacité du CRoC ou du SJT définie par l'absence de flux artériel d'aval mesuré au doppler au niveau poplité, lorsque le garrot conventionnel de type *SOFTT* ne suffit pas à interrompre le flux artériel.

Les critères de jugement secondaires ont été le temps de pose, l'efficacité des dispositifs jonctionnels après retrait du garrot et les conditions de mise en œuvre d'après les opérateurs, que ce soit pour le garrot tourniquet ou pour les dispositifs de compression jonctionnelle CRoC/SJT.

3. Type d'étude

Il s'agit d'une étude clinique prospective portant sur des volontaires sains. Elle entre dans le cadre de l'expertise technique pour la dotation des formations sanitaires. Cette étude, menée sous la responsabilité du Médecin en chef MARTINEZ, a été soumise à l'accord du

correspondant de la recherche et du comité d'éthique de l'Hôpital d'Instruction des Armées de Desgenettes de Lyon.

4. Population

Il s'agit d'une population de militaires d'active, volontaires, appartenant aux compagnies 810^{ème} HMC (Hôpital Mobile de Campagne), 2^{ème} NRBC (Nucléaire, Radiologique, Biologique et Chimique), 1^{ère} CMC (Compagnie Médico-Chirurgicale) et 3^{ème} CMC, au sein du Régiment médical de La Valbonne (01360). En raison de leur formation, ces militaires sont tous brancardiers-secouristes et sont donc sensibilisés au sauvetage au combat.

4.1. Critères d'inclusion

Tous les personnels inclus devaient être à jour de leur Visite Militaire Périodique (VMP) ayant conclu à leur aptitude « à servir et faire campagne en tous lieux et sans restriction ».

Chaque sujet inclus a reçu une information claire, loyale, et appropriée. En particulier, les personnels ne souhaitant pas participer à l'étude ont été informés qu'ils pouvaient refuser sans crainte de sanction.

4.2. Critères d'exclusion

- Refus de participer à l'étude
- Pathologie vasculaire avérée
- Présence de facteurs de risque d'athérome (autres que le tabagisme < 20 paquets-année)
- Dépistage d'une anomalie vasculaire ilio-fémorale par écho-doppler systématique avant l'inclusion
- Pathologie évolutive en cours, quelle que soit sa nature

5. Matériel testé

5.1. Garrot de membre de type SOFTT ®, dit « tourniquet »

Le garrot est composé d'une sangle attachée à un châssis. Cette sangle passe dans un bâtonnet permettant de serrer le système autour du membre. Une fois le bâtonnet tourné avec efficacité, il doit être bloqué dans un des deux anneaux triangulaires présents de part et d'autre du châssis. Une boucle plate en métal munie d'une vis de sécurité permet de verrouiller le système en empêchant la sangle de glisser après le serrage



Photographie 13 : Représentation du garrot tourniquet de type SOFTT

5.2. Dispositifs de compression jonctionnelle

5.2.1. Le Combat Ready Clamp (CRoC)



Photographie 14 : Représentation du dispositif jonctionnel CRoC

5.2.1.1 Composition

Le CRoC est composé d'un sac avec des instructions, d'une base plane associée à un bras vertical, d'un bras horizontal, d'un disque de pression, d'une poignée de pression et de sangles ajustables.

5.2.1.2 Montage

Pour monter le CRoC, il convient de sortir ses composants de son emballage. Puis il suffit d'étendre le bras vertical sur sa base plane. Il faut ensuite soulever la goupille de verrouillage du bras horizontal et insérer le bras horizontal. On doit alors insérer la tige de la poignée de pression dans la tête du bras horizontal et tourner dans le sens des aiguilles d'une montre jusqu'à ce que la pointe de fixation du disque de pression soit visible. Il faut ensuite fixer le disque de pression sur la tige de la poignée de pression. Enfin grâce à la goupille de verrouillage du bras vertical, il faut régler le bras vertical à la position désirée en fonction de la taille de la victime.

5.2.1.3 Utilisation

Il existe deux manières d'utiliser le CRoC soit en pression directe sur la blessure, soit en pression proximale dans le contrôle des hémorragies des membres inférieurs non contrôlées par des garrots conventionnels. Nous avons choisi cette deuxième indication plus réaliste pour notre étude. On applique alors le CRoC sur le ligament inguinal, c'est-à-dire au milieu d'une ligne qui rejoint l'épine iliaque antéro-supérieure au pubis. Il suffit alors de positionner sur cet emplacement afin de réaliser la pression. Le reste de la manipulation est identique à la méthode précédente.

5.2.2. Le SAM Junctional Tourniquet (SJT)



Photographie 15 : Représentations du dispositif jonctionnel SJT

5.2.2.1 Composition

Le SJT est composé d'un sac avec ses instructions, d'une ceinture pelvienne principale, accompagné de deux dispositifs compressifs amovibles, appelés Target Compression Devices (TCDs), d'une pompe à main et d'une deuxième sangle accessoire stabilisatrice.

5.2.2.2 Utilisation

Il suffit de faire glisser la ceinture sous la victime, en positionnant le dispositif compressif amovible cible sur la zone à comprimer. On utilisera de la gaze ou un pansement hémostatique si le ciblage est directement sur la blessure. Ensuite, on ferme la ceinture en utilisant la boucle, puis on serre en tirant les poignées marron à l'opposé l'une de l'autre jusqu'à ce que la boucle se bloque et qu'on entende un clic. On fixe l'excès de la ceinture en le pressant contre le velcro. On utilise alors la pompe à main pour gonfler le dispositif compressif jusqu'à ce que l'hémorragie soit stoppée. Pour une application bilatérale, on appliquera le deuxième dispositif compressif amovible.

6. Tenue

Les sujets ont porté une tenue de combat (un treillis de type Félin), sans arme individuelle, ni équipement de protection.

7. Lieux et circonstances de l'étude

L'étude a été réalisée les 17 et 18 septembre 2014 dans le Centre Médical des Armées de La Valbonne situé sur le camp de La Valbonne dans l'Ain (01360). Elle faisait suite à une courte activité physique, afin de placer les militaires en condition de stress et ainsi de se rapprocher d'une situation opérationnelle réaliste.

8. Protocole clinique

Le protocole expérimental a été établi selon les recommandations publiées du comité d'expert du *United States of America Institute of Surgical Research (USAISR)* de San Antonio.

Les principes retenus ont été :

- Tests sur volontaires sains
- Mesures par méthode non invasive

8.1. Mesures échographiques

Toutes les mesures échographiques ont été réalisées par un seul opérateur, l'IHA MAVROVI, médecin radiologue sur l'Hôpital d'Instruction des Armées de Desgenettes. Elles ont été effectuées à l'aide d'un échographe portatif M-Turbo SONOSITE.

8.2. Phase I : Pré-test

Tous les sujets ont reçu une information claire, loyale et appropriée sur le déroulement complet de l'étude le 15 septembre 2014 lors d'une présentation en amphithéâtre. Les deux dispositifs de compression jonctionnelle leur ont été présentés. Un rappel leur a été fait sur la pose du garrot de membre de type SOFTT, extrait du module « Hémorragie de membre » du Manuel de Sauvetage de Combat niveau 1.

Une formation spécifique sur l'utilisation des deux dispositifs de compression

jonctionnelle - CRoC et SJT - a été ensuite effectuée le même jour au profit des quatre binômes médecin/infirmier du CMA de La Valbonne qui allaient participer à l'étude.

8.3. Phase II : Mesures objectives

1. Les 17 et 18 septembre 2014, les sujets volontaires se présentaient par groupe de six toutes les heures sur un créneau horaire préalablement défini. Chaque personnel recevait un cahier d'observation nominatif et devait renseigner le questionnaire médical préalable (Annexe 1) et le questionnaire sociodémographique (Annexe 2). Le secrétariat du CMA devait renseigner sur l'Annexe 1, la date de la dernière VMP (validité < 2 ans) et les éventuelles restrictions d'aptitude « à servir et faire campagne en tous lieux sans restriction ».

Après vérification par le médecin investigateur de l'identité du sujet et de l'absence de critères d'exclusion d'après le questionnaire de santé, un examen échographique doppler était alors réalisé pour confirmer l'absence de lésions sur les axes artériels ilio-fémoraux (ECHO 1 = pré-test). En cas d'absence d'anomalie (Annexe 3), le consentement écrit était recueilli (Annexe 4) et un numéro d'inclusion était attribué à chaque participant.

2. Chaque sujet inclus effectuait ensuite un parcours sportif en tenue de combat de type Félin. Tous les personnels ont ainsi couru environ cinq minutes en portant un jerrican d'eau d'un poids de 20 kg. Ce parcours finissait directement dans la salle d'examen du CMA où était réalisée l'étude. Les constantes hémodynamiques (la tension artérielle, la fréquence cardiaque, et la saturation en air en oxygène) étaient prises systématiquement à l'issue de l'exercice physique. Dès lors, le chronomètre était démarré et le sujet devait effectuer la pose du garrot SOFTT en auto-application à la racine de la cuisse droite, par-dessus sa tenue de combat. La fin du temps de pose correspondait au serrage de la vis de sécurité. Le temps de pose était exprimé en secondes. Les participants décidaient eux-mêmes du degré de serrage considéré comme efficace.

Les critères d'arrêt proposés étaient :

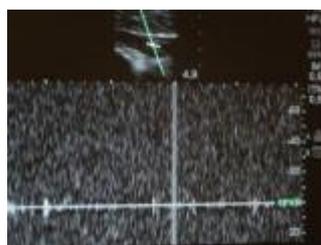
- Mécanique ou technique par l'impossibilité de serrer davantage
- Présomption d'efficacité (le sujet pense que le degré de serrage est suffisant)
- Douleur au serrage, jugée trop importante



Photographie 16 : Application du garrot à la racine du membre inférieur droit

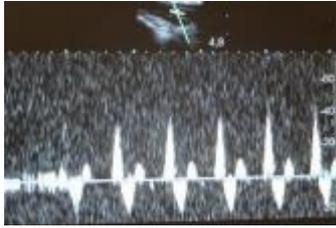
Sans aucun délai, l'efficacité du garrot était ensuite déterminée par la mesure en échographie doppler pulsé, du flux artériel poplité résiduel (ECHO 2 = pose garrot). L'efficacité de la pose du garrot était définie comme l'abolition de tout flux artériel détectable par examen ultrasonique (ou *no flow*). La persistance d'un flux même très atténué (*flow*), était considérée comme une pose inefficace.

- a. En cas de *no flow* définissant l'efficacité du garrot, celui-ci était desserré et la réapparition d'un flux vasculaire était vérifiée à l'échographie (ECHO 3 bis = retrait garrot). Ces sujets ayant réussi une pose de garrot totalement efficace étaient alors exclus de l'étude (situation attendue pour 10 à 30% des sujets selon une étude menée par Leroulley (65))



Photographie 17 : Absence de flux constaté au doppler pulsé

- b. En cas de persistance d'un flux résiduel, l'efficacité du garrot était partielle (attendu pour 70 à 90 % des sujets selon une étude menée par Leroulley (65)). Le garrot tourniquet était alors laissé en place, au même degré de serrage.



Photographie 18: Persistence d'un flux résiduel constaté au doppler pulsé

3. Après constatation de la persistance d'un flux artériel poplité, une randomisation était effectuée par la fonction EXCEL (=ARRONDI.INF (ALEA()*2+1;0)) générant un chiffre entier aléatoirement entre 1 et 2, pour déterminer quel dispositif de compression jonctionnelle associer au garrot : CRoC (=1) ou SJT (=2). Le dispositif jonctionnel était alors mis en place par un binôme médecin/infirmier, avec mesure du temps de pose. Une troisième mesure échographique continue était réalisée pendant la pose (ECHO 3 = pose dispositif CRoC ou SJT), permettant de déterminer le moment précis où le dispositif était efficace en observant la disparition du flux artériel poplité. Afin d'évaluer le degré de serrage, on a mesuré pour le CRoC, la hauteur du pas de vis en centimètres, entre le bras horizontal et le disque de pression.



Photographie 19 : Application du CRoC avec mesure du pas de vis



Photographie 20 : Application du CRoC

Pour le SJT, on a compté le nombre de pressions manuelles sur la pompe pour obtenir l'efficacité.



Photographie 21 : Application du SJT

4. Après mise en place et vérification échographique de l'efficacité du dispositif jonctionnel, le garrot tourniquet était desserré avec une 4^{ème} mesure échographique (ECHO 4 = dispositif seul sans resserrage) afin de mesurer l'efficacité du dispositif jonctionnel seul sans resserrage.
5. En cas de réapparition d'un flux artériel poplité, le dispositif jonctionnel était resserré jusqu'à obtenir l'efficacité totale (ECHO 5 = dispositif seul après resserrage). Etaient notés comme précédemment soit la hauteur en centimètres entre le bras horizontal et

le disque de pression pour le CRoC, soit le nombre de pressions manuelles sur la pompe pour le SJT.

- S'il persistait un flux résiduel malgré le resserrage, le dispositif jonctionnel était retiré et remplacé par l'autre dispositif de compression (CRoC ou SJT). L'efficacité était ensuite évaluée de la même manière (ECHO 5 bis = autre dispositif seul).
6. Dans tous les cas, une dernière mesure échographique (ECHO 6 = retrait CRoC ou SJT), permettait de vérifier la réapparition du flux vasculaire normal après retrait du dispositif jonctionnel.

Une limite de temps de 5 minutes avait été fixée pour ne pas prolonger le temps de compression artérielle. Dans tous les cas, les dispositifs jonctionnels devaient être retirés dans un délai maximal de 5 minutes suivant la pose effective du premier garrot (vis de sécurité serrée).



Photographie 22 : Mesure échographique du flux artériel poplité au doppler pulsé



Photographie 23 : Repérage de l'artère poplitée



Photographie 24 : Décroissance du flux artériel poplitée

8.4. Phase III : Données qualitatives

Un questionnaire d'évaluation sur le cahier d'observation, a été renseigné à l'issue de la manipulation du matériel par chaque volontaire (Annexe 6), et par l'équipe ayant posé le dispositif jonctionnel (Annexe 7). Ces questionnaires visaient à noter les difficultés rencontrées lors de la pose des différents dispositifs et ont permis une évaluation subjective basée sur différents critères.

9. Anonymat et gestion des données personnelles

Les résultats étaient notés sur le formulaire papier du cahier d'observation (Annexe 5) puis ont été saisis dans une base de données informatique Excel. Les informations médicales et personnelles des sujets de l'étude ont été rendues anonymes à l'aide d'un identifiant numérique.

10. Analyse des données

L'association entre certaines variables a été étudiée à l'aide du logiciel de statistiques BiostaTGV. Les variables qualitatives ont été comparées à l'aide du test du Chi², et du test de Fisher lorsque les variables étaient inférieures à cinq. Les variables quantitatives ont été comparées à l'aide du test t de Student. Un risque alpha de 5% et un seuil de significativité $p=0,05$ ont été définis pour chacun des tests.

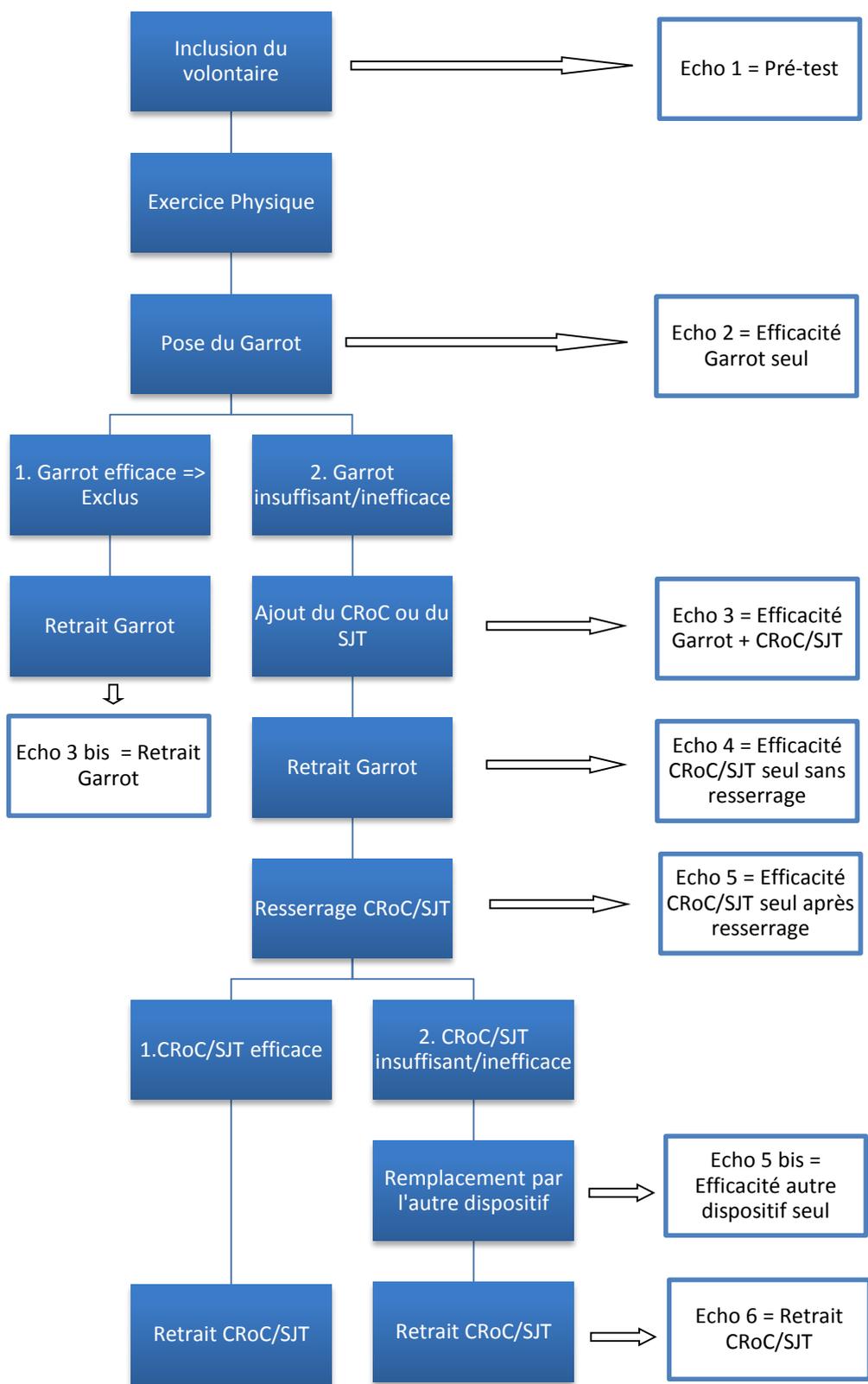


Figure 10 : Schéma de l'étude

11. Ethique de l'étude

L'enjeu de cette étude a été d'améliorer la connaissance pratique de l'usage des dispositifs de compression jonctionnelle en ambiance tactique. La littérature médicale affirme que leur plus grande utilisation permettrait de sauver de nombreuses vies.

En comparant leur efficacité et en documentant les difficultés rencontrées sur la mise en œuvre de ces dispositifs, ce travail pourrait contribuer à dégager le dispositif le plus efficace et donc indirectement à augmenter la survie des blessés sur le champ de bataille.

Les données cliniques et de sécurité concernant l'usage des garrots ont permis de réaliser ce protocole expérimental sans mettre en danger les participants.

Le protocole clinique de cette étude a été examiné par les autorités médicales et approuvé par le comité d'éthique de la recherche de l'Hôpital d'Instruction des Armées de Desgenettes (Annexe 8).

Pour préciser les considérations éthiques de cette étude, voici les conditions que nous avons respectées :

- Basée sur le volontariat
- Chaque sujet était libre de refuser à tout moment de participer ou de poursuivre l'étude
- Chaque sujet décidait du degré de serrage et stoppait quand il le décidait
- Aucun serrage supplémentaire n'était imposé au sujet

IV. Résultats

A. Population et diagramme des flux

Lors de la phase I, l'étude a été présentée et proposée en amphithéâtre le 15 septembre 2014, à 110 militaires faisant partie de différentes compagnies au sein du Régiment Médical de la Valbonne. A l'issue de cette présentation, il leur a été demandé en cas de disponibilité, de se présenter les 17 et 18 septembre afin de participer à l'étude.

Ainsi, lors de la phase II, 93 sujets se sont présentés, 17 militaires étaient absents pour des raisons de service. Parmi les 93 présents, six ont choisi de ne pas participer à l'étude, portant à 87 l'effectif des sujets volontaires.

Sur les 87 volontaires, 74 sujets ont finalement été inclus (soit 67,3 %), dont cinq officiers, quatre sous-officiers et 65 militaires du rang. Deux personnels ont été exclus pour raison médicale (une chirurgie récente des adducteurs et un antécédent familial de maladie thromboembolique sans facteur déclenchant). Un sujet a été exclu pour une raison technique (l'examen échographique ne permettait pas de retrouver facilement le flux doppler artériel poplité, lié à la corpulence du sujet). Enfin 10 sujets ont été exclus en raison de l'efficacité totale du garrot SOFTT, ne nécessitant pas l'ajout d'un dispositif de compression jonctionnelle.

L'âge moyen des 74 participants était de 28 ans (min : 19 ans ; max : 46 ans), parmi lesquels on comptait 16 personnels féminins (soit 21,6%). L'IMC moyen des volontaires était de 24,3 kg/m² (min : 19,8 kg/m² ; max : 32,3 kg/m²).

Concernant leur expérience opérationnelle, le nombre médian d'opérations extérieures était de une (min : 0 ; max : 16). On notait un nombre médian d'années de service de cinq ans (min : 1 an ; max : 27 ans).

Seul 4 participants n'avaient aucune formation « Sauvetage au Combat ». 47 sujets étaient titulaires du « Sauvetage au Combat de niveau 1 », 20 du niveau 2 et trois du niveau 3. En situation réelle, 10 personnels ont déclaré avoir déjà posé un garrot de membre en hétéro-application (soit 13,5%), et trois en auto-application (soit 2,2%).

Les 74 personnels ont ensuite été randomisés en deux groupes en fonction du dispositif jonctionnel choisi : le groupe CRoC constitué de 36 militaires et le groupe SJT constitué de 38 militaires.

A la fin de l'exercice, lors de la phase III, tous les sujets ont rempli le questionnaire de ressenti. Aucun participant n'a donc été perdu de vu.

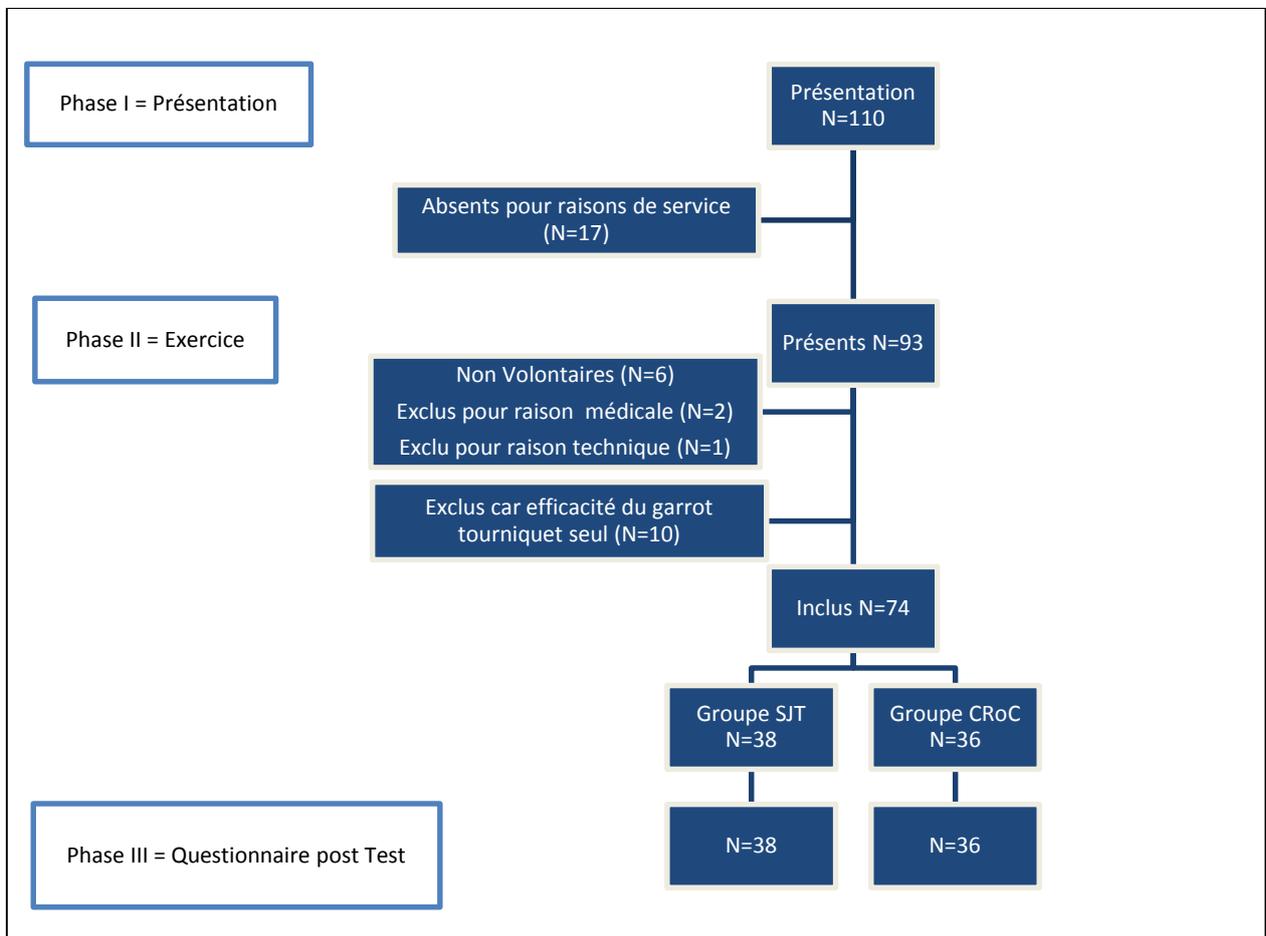


Figure 11: Diagramme des Flux

B. Résultats de la phase II

1. Démographie

L'analyse des données démographiques sur l'âge, l'IMC, le sexe, le grade, le nombre d'années de service, le nombre d'opérations extérieures, le niveau de sauvetage au combat, la tension artérielle et la fréquence cardiaque lors de l'inclusion n'a mis en évidence aucune différence significative entre les deux groupes.

	Groupe CRoC (N=36)	Groupe SJT (N=38)	Test t de Student (moyenne, médiane) / Test du Chi ² ou Fisher (fréquence)
Age (années, médiane)	24	26	p=0,20
IMC (kg/m ² moyenne)	24	24,6	p=0,33
Sexe (Femme / Homme)	5 / 31	11 / 27	p=0,16
Grade (Officiers / Sous-Officiers / Militaires du Rang)	2 / 2 / 32	3 / 2 / 33	p=0,99
Années de service (années ; médiane)	5	6,5	p=0,28
Nombre d'opération extérieure (médiane)	1	1	p=0,44
Niveau de Sauvetage au Combat (SC0 / SC1 / SC2 / SC3)	1 / 22 / 12 / 1	3 / 25 / 8 / 2	p=0,54
Tension artérielle (Systole/Diastole en mmHg ; moyenne)	147 / 73	148 / 75	p=0,92
Fréquence cardiaque (BPM ; moyenne)	88	95	p=0,11

Tableau 4 : Caractéristiques démographiques de la population

2. Critère de jugement principal

2.1. Efficacité comparée

Sur les 84 volontaires qui ont participé à l'étude, 10 (soit 11,9%) ont réussi à appliquer efficacement le garrot à la racine du membre inférieur, et n'ont donc pas nécessité l'application d'un dispositif de compression jonctionnelle de type SJT/CRoC. Ces sujets ont donc été exclus de l'étude.

Les 74 participants restants qui n'ont pas réussi à appliquer efficacement le garrot de membre, ont été répartis aléatoirement en deux groupes. Ainsi 36 sujets ont été alloués au groupe CRoC et 38 au groupe SJT.

L'ajout d'un dispositif de compression jonctionnelle, en cas d'insuffisance ou d'inefficacité du garrot tourniquet, a permis d'interrompre le flux artériel au niveau poplité dans 89,5% des cas pour le groupe SJT (soit quatre échecs) et dans 97,2% pour le groupe CRoC (soit un échec).

En comparant les deux groupes, on ne retrouve cependant pas de différence significative avec un $p=0,36$. Ce résultat ne nous permet donc pas de prouver la supériorité d'un des deux dispositifs.

	Groupe CRoC (N=36)	Groupe SJT (N=38)	Test de Fisher
Efficacité (%)	97,2 (N=35)	89,5 (N=34)	$p=0,36$

Tableau 5 : Efficacité comparée du CRoC et du SJT, en cas d'insuffisance du garrot tourniquet

2.2. Mesure de l'efficacité

- Pour le groupe CRoC, afin d'évaluer le degré de serrage, on a mesuré la hauteur du pas de vis en centimètres, entre le bras horizontal et le disque de pression. La hauteur moyenne dans notre étude, pour les 36 participants a été de 4,8 cm (min : 2,8 cm ; max : 8,7 cm)

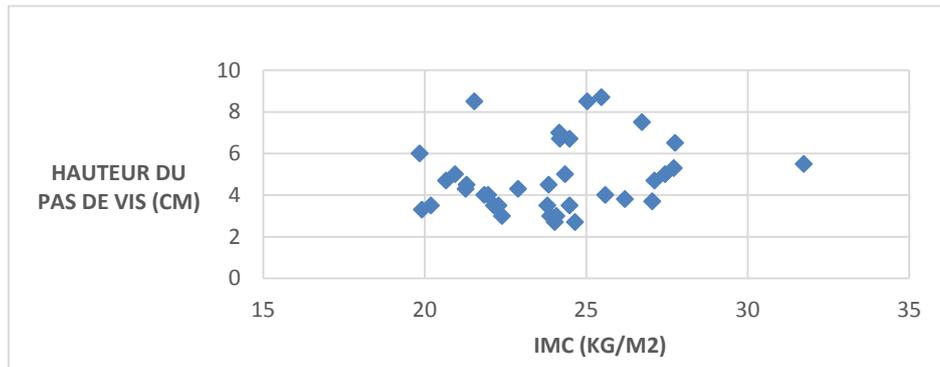


Figure 12: Relation entre IMC et la hauteur du pas de vis du CRoC

On ne note pas de corrélation entre la hauteur du pas de vis et l'IMC des participants.

- Pour le groupe SJT, afin d'évaluer le degré de serrage, on a mesuré le nombre de pressions manuelles effectuées sur la pompe de gonflage du dispositif. Le nombre moyen de pressions a été de 5 pressions. (min : 1 ; max : 12)

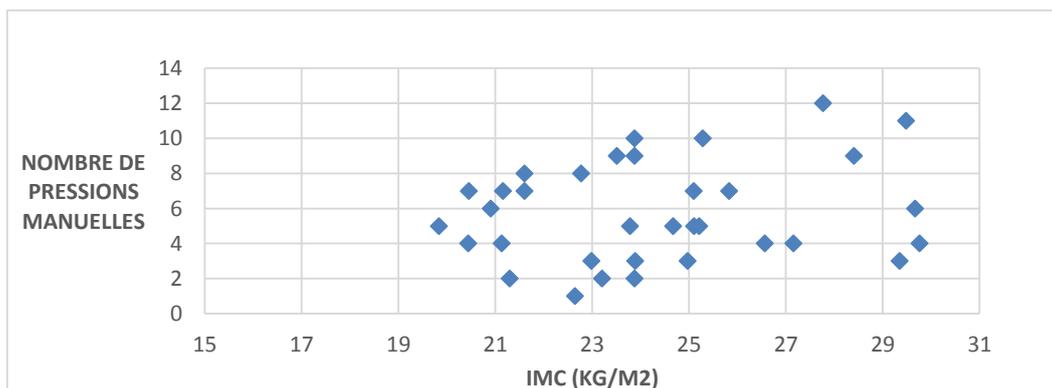


Figure 13: Relation entre IMC et le nombre de pression manuelle sur le SJT

On ne note pas non plus de corrélation entre le nombre de pressions manuelles et l'IMC des participants.

2.3. Résultats croisés

Pour le critère de jugement principal, on a donc noté l'absence d'efficacité complète pour un volontaire du groupe CRoC et de quatre pour le groupe SJT, lorsqu'ils sont utilisés associés au garrot.

2.3.1. Relation IMC/Efficacité

Nous avons comparé la moyenne de l'IMC des sujets selon l'efficacité de chacun des dispositifs CRoC et SJT, utilisés en association avec le garrot.

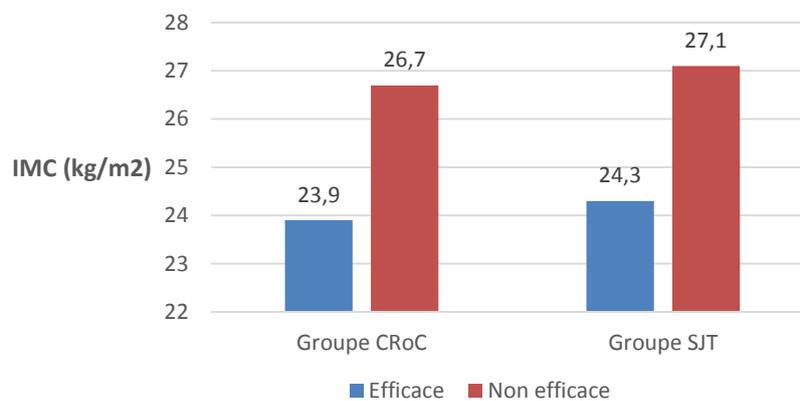


Figure 14: Relation Efficacité/IMC

L'IMC moyen des sujets avec pose de dispositif jonctionnel efficace est inférieur à l'IMC moyen des sujets avec pose inefficace, quel que soit le dispositif utilisé (CRoC : 23,9 versus 26,7. SJT : 24,3 versus 27,1 kg/m²)

Cependant, on ne retrouve pas de différence d'IMC statistiquement significative entre les poses efficaces et non efficaces, que ce soit pour le groupe SJT ($p=0,32$), ou pour le groupe CRoC ($p=0,39$). Cette absence de significativité est principalement liée à la taille réduite des effectifs.

2.3.2. Relation Efficacité/Pression Artérielle

Nous avons comparé la moyenne de la pression artérielle qui était prise systématiquement avant la pose du dispositif jonctionnel, selon l'efficacité de chacun des dispositifs.

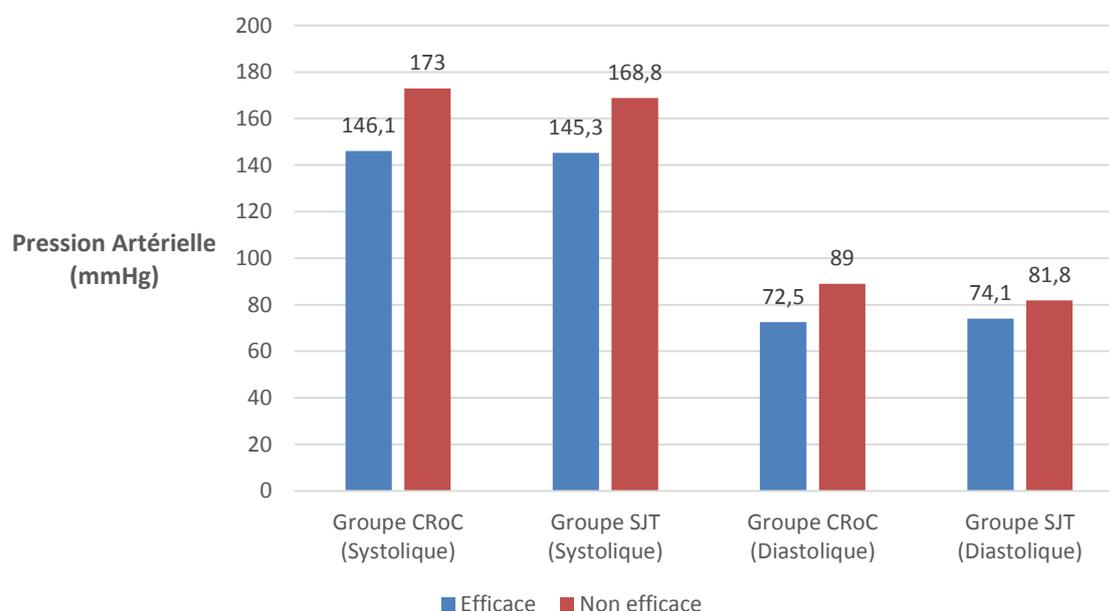


Figure 15: Relation Efficacité/Pression Artérielle

- Pour la pression artérielle systolique, la moyenne des sujets avec pose efficace est de 146,1 mmHg pour le groupe CRoC contre 145,3 mmHg pour le groupe SJT. Pour les sujets avec pose inefficace, on note pour le groupe CRoC une moyenne de 173 mmHg, et pour le groupe SJT de 168,8 mmHg.

Bien que la pression artérielle systolique semble supérieure pour les sujets avec pose inefficace, on ne retrouve pas de différence significative entre les poses efficaces et non efficaces ($p=0,14$ pour le groupe SJT et $p=0,15$ pour le groupe CRoC).

- Pour la pression artérielle diastolique, la moyenne des sujets avec pose efficace est de 72,5 mmHg pour le groupe CRoC contre 74,1 mmHg pour le groupe SJT. Pour les

poses inefficaces, on note pour le groupe CRoC une moyenne de 89 mmHg, et pour le groupe SJT de 81,8 mmHg.

De même, bien que la pression artérielle diastolique semble supérieure pour les sujets avec pose inefficace, on ne retrouve pas de différence significative entre les poses efficaces et non efficaces ($p=0,17$ pour le groupe SJT et $p=0,16$ pour le groupe CRoC). Comme pour la pression artérielle systolique, cette absence de significativité semble principalement liée à la taille des effectifs.

3. Critères de jugement secondaires

3.1. Temps de pose du garrot tourniquet

La durée moyenne d'auto-application du garrot tourniquet a été de 40,6 secondes pour l'ensemble des participants inclus.

Si on compare les deux groupes, on ne retrouve pas de différence significative pour le temps de pose du garrot, avec une durée moyenne de 40 secondes dans le groupe CRoC, et de 41 secondes dans le groupe SJT ($p=0,77$).

3.2. Temps de pose du dispositif de compression jonctionnelle

En comparant les deux groupes on note que le CRoC a nécessité un temps de pose moyen de 41 secondes contre 34 secondes pour le SJT.

Le temps de pose du SJT a été significativement plus court que le temps de pose du CRoC ($p= 0,029$). Cette différence est d'autant plus marquée que le CRoC a été utilisé pré-monté pour faciliter la rapidité de l'exercice. Nous avons constaté hors étude que le temps moyen nécessaire au montage du CRoC était de 45 secondes pour une personne entraînée. Ainsi la pose du CRoC sans être pré-monté aurait nécessité en moyenne 86 secondes, contre 34 secondes pour le SJT ($p<0,00001$).

	Groupe CRoC (N=36)	Groupe SJT (N=38)	Test de Student
Temps de pose moyen (secondes)	41	34	p=0,029
Temps de pose moyen (avec temps de montage, secondes)	86 (41 + 45)	34	p<0,00001

Tableau 6: Temps de pose moyen du CRoC/SJT

3.3. Efficacité du dispositif de compression jonctionnelle utilisé seul, sans resserrage

Après avoir desserré le garrot, on a mesuré l'efficacité du dispositif de compression jonctionnelle seul, sans le resserrer.

Pour le groupe SJT, l'efficacité du dispositif sans resserrage a été mesurée à 60,5%, alors qu'elle n'était que de 27,8% pour le groupe CRoC.

Dans ces conditions, l'efficacité du SJT est significativement supérieure à celle du CRoC (p=0,004).

	Groupe CRoC (N=36)	Groupe SJT (N=38)	Test du Chi ²
Efficacité du dispositif CRoC/SJT seul, sans resserrage (%)	27,8	60,5	p=0,004

Tableau 7 : Efficacité comparée du CRoC et du SJT seul, sans resserrage

3.4. Efficacité du dispositif de compression jonctionnelle utilisé seul, après resserrage

3.4.1. Mesure de l'efficacité

Les dispositifs ont ensuite été resserrés afin d'évaluer leur efficacité.

On a noté une efficacité de 91,7 % pour le groupe CRoC, et de 86,9% pour le groupe SJT. On n'a retrouvé aucune différence significative entre les deux groupes (p=0,71).

	Groupe CRoC (N=36)	Groupe SJT (N=38)	Test de Fisher
Efficacité du dispositif CRoC/SJT seul, après resserrage (%)	91,7	86,9	p=0,71

Tableau 8: Efficacité comparée du CRoC et du SJT seul, après resserrage

Pour le groupe CRoC, le resserrage a augmenté la hauteur du pas de vis, à 5,3 cm en moyenne contre 4,8 cm lorsqu'il était associé au garrot.

Pour le groupe SJT, le nombre moyen de pressions manuelles sur la pompe, a été augmenté à 6 contre 5 lorsqu'il était associé au garrot.

	Mesure moyenne de l'efficacité du dispositif CRoC (hauteur pas de vis, cm) et SJT (nombre de pression, N)	
	Associé au garrot	Seul
Groupe CRoC (N=36)	4,8 cm	5,3 cm
Groupe SJT (N=38)	5 pressions	6 pressions

Tableau 9 : Comparaison de la mesure moyenne de l'efficacité du dispositif, utilisé sans et avec le garrot

3.4.2. Résultats croisés

Après resserrage, on a donc noté l'absence d'efficacité complète du dispositif appliqué seul, pour trois volontaires du groupe CRoC et de cinq pour le groupe SJT.

3.4.2.1 Relation IMC/Efficacité

Nous avons comparé la moyenne de l'IMC des sujets selon l'efficacité de chacun des dispositifs CRoC et SJT, utilisés seuls.

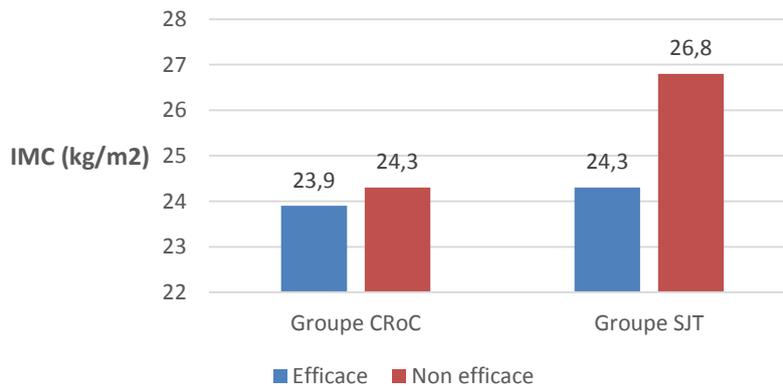


Figure 16: Relation Efficacité/IMC

Pour le groupe CRoC, on retrouve une moyenne de l'IMC à 23,9 kg/m² pour les sujets avec pose efficace, contre 24,3 kg/m² pour les sujets avec pose inefficace. Cette moyenne semble similaire entre les deux groupes. En réalisant un test statistique, on ne retrouve pas de différence significative entre les poses efficaces et non efficaces (p=0,80).

Pour le groupe SJT, on retrouve une moyenne de l'IMC à 24,3 kg/m² pour les sujets avec pose efficace contre 26,8 kg/m² pour les sujets avec pose inefficace. On note ainsi une différence plus marquée que pour le CRoC. Cependant, en réalisant un test statistique, on ne retrouve pas de différence significative entre les poses efficaces et non efficaces (p=0,26).

3.4.2.2 Relation Efficacité/Pression Artérielle

Nous avons comparé la moyenne de la pression artérielle systolique et diastolique qui était prise systématiquement avant la pose du dispositif jonctionnel, selon l'efficacité de chacun des dispositifs.

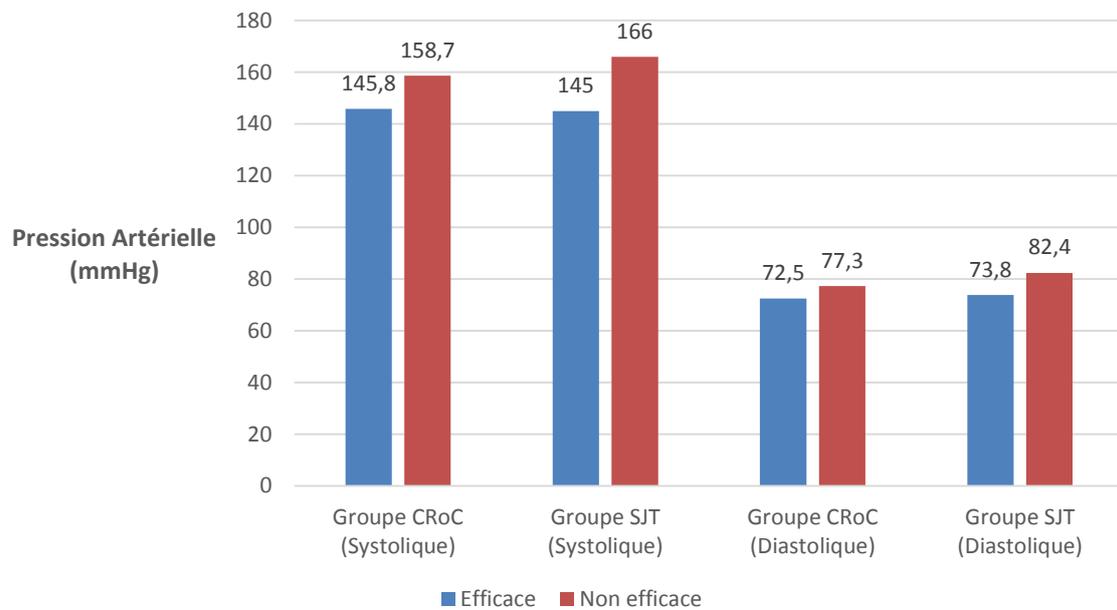


Figure 17: Relation Efficacité/Pression Artérielle

- Pour la pression artérielle systolique, la moyenne pour les sujets avec pose efficace est de 145,8 mmHg pour le groupe CRoC contre 145 mmHg pour le groupe SJT. Pour les sujets avec pose inefficace, on note pour le groupe CRoC une moyenne de 158,7 mmHg, et pour le groupe SJT de 166 mmHg.

Bien que la pression artérielle systolique semble supérieure pour les sujets avec pose inefficace, on ne retrouve pas de différence significative entre les poses efficaces et non efficaces ($p=0,097$ pour le groupe SJT et $p=0,27$ pour le groupe CRoC).

- Pour la pression artérielle diastolique, la moyenne pour les sujets avec pose efficace est de 72,5 mmHg pour le groupe CRoC contre 73,8 mmHg pour le groupe SJT. Pour les

sujets avec pose inefficace, on note pour le groupe CRoC une moyenne de 77,3 mmHg, et pour le groupe SJT de 82,4 mmHg.

De même, bien que la pression artérielle diastolique semble supérieure pour les sujets avec pose inefficace, on ne retrouve pas de différence entre les poses efficaces et non efficaces ($p=0,065$ pour le groupe SJT et $p=0,59$ pour le groupe CRoC). Comme pour la pression artérielle systolique, cette absence de significativité semble principalement liée à la taille des effectifs.

3.4.3. Inefficacité du dispositif de compression jonctionnelle

En cas d'inefficacité et conformément au protocole, nous n'avons pas essayé de reposer le même dispositif. Pour chaque application inefficace, on a mis en place le deuxième dispositif à la place du premier si le sujet l'acceptait.

3.4.3.1 Echec du CRoC seul

Lors de l'application du CRoC seul, on a constaté une absence d'efficacité complète pour trois participants. On a donc proposé à chaque participant de poser le SJT à la place du CRoC. Un participant sur les trois a refusé la pose de ce deuxième dispositif. Les deux autres ont accepté. La pose du SJT a permis d'avoir une efficacité complète pour les deux participants, soit 100% d'efficacité.

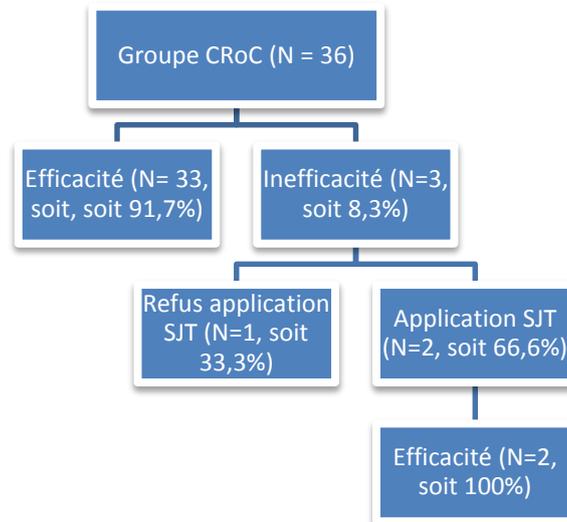


Figure 18: Diagramme sur les échecs du groupe CRoC, appliqué seul

3.4.3.2 Echec du SJT seul

Lors de l'application du SJT seul, on a constaté une absence d'efficacité complète pour cinq participants. On a donc proposé à chaque participant de poser le CRoC à la place du SJT. Aucun participant n'a refusé la pose de ce dispositif. La pose du CRoC a permis d'avoir une efficacité complète pour quatre des cinq participants, soit 80%.

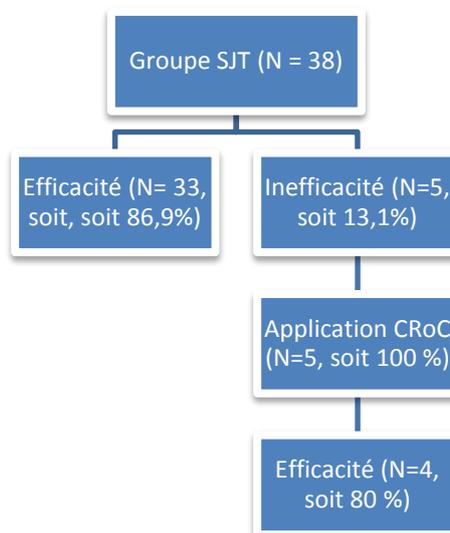


Figure 19: Diagramme sur les échecs du groupe SJT, appliqué seul

4. Synthèse de la phase II

L'ajout d'un dispositif de compression jonctionnelle, en cas d'insuffisance ou d'inefficacité du garrot tourniquet, a permis d'interrompre le flux artériel au niveau poplité dans 89,5% pour le groupe SJT (soit quatre échecs) et de 97,2% pour le groupe CRoC (soit un échec). On n'a retrouvé aucune différence significative permettant de démontrer la supériorité d'un des dispositifs ($p=0,36$). L'efficacité a été obtenue pour le CRoC avec une hauteur moyenne du pas de vis de 4.8 cm. Pour le groupe SJT, il a fallu en moyenne 5 pressions manuelles.

Bien qu'il semble que l'IMC, la pression artérielle systolique et diastolique soient supérieures pour les sujets avec pose inefficace, il n'a été démontré aucune différence significative entre les poses efficaces et inefficaces que ce soit pour le groupe CRoC que pour le groupe SJT.

On note que le temps de pose du SJT a été significativement moins long que celui du CRoC ($p=0,029$). De même l'efficacité du SJT sans resserrage après le retrait du garrot (60,5%), a été significativement supérieure à celle du CRoC (27,8%), avec un $p=0,004$.

En revanche, l'efficacité du SJT et du CRoC après resserrage, ont été similaires respectivement à 86,9% (soit 5 échecs) et 91,7% (soit 3 échecs), avec un $p=0,71$. De même dans cette situation, bien qu'il semble que l'IMC, la pression artérielle systolique et diastolique soient supérieures pour les sujets avec pose inefficace, il n'a été démontré aucune différence significative entre les poses efficaces et inefficaces que ce soit pour le groupe CRoC que pour le groupe SJT.

On note qu'à la fin de la phase II, aucun effet indésirable n'a été rapporté par les participants.

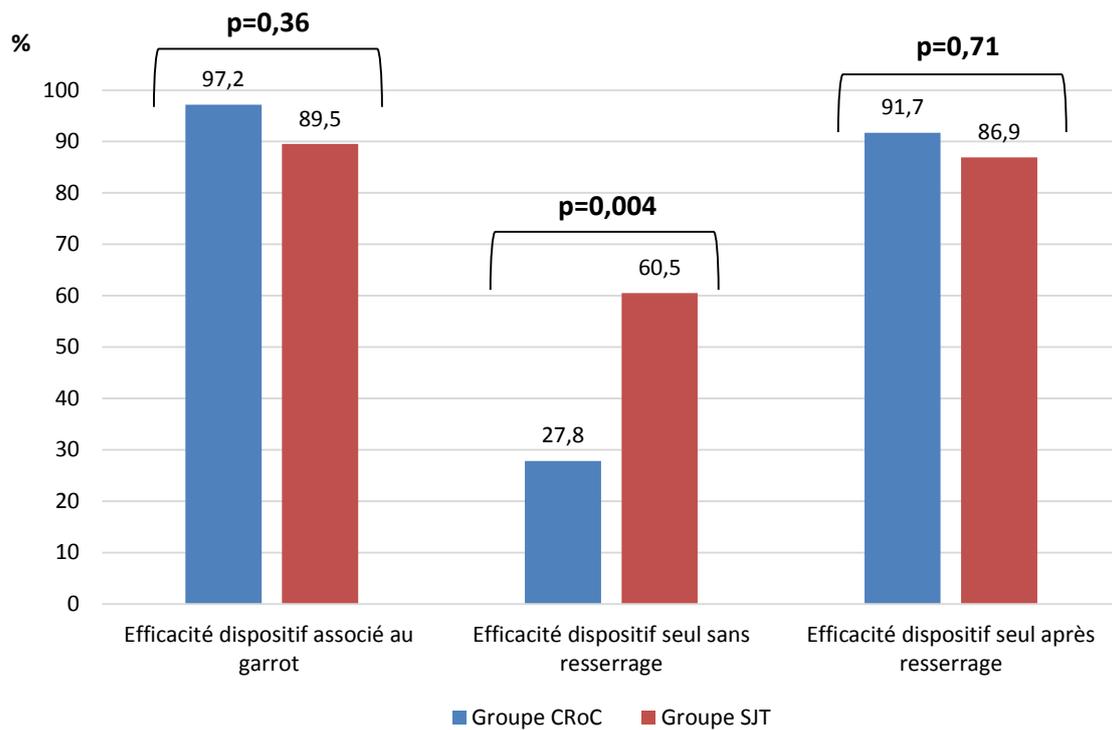


Figure 20: Synthèse des résultats de la phase II

C. Résultats de la phase III

1. Questionnaire d'évaluation du ressenti des participants

Le questionnaire de ressenti a été rempli par 100% des participants à l'issue de la phase II. 74 questionnaires ont donc pu être ainsi interprétés dont 36 pour le groupe CRoC et 38 pour le groupe SJT.

1.1. Formation

La formation au sauvetage au combat et à l'utilisation en auto-application du garrot de membre, a été jugée suffisante pour 86,5% des sujets. 9,5% des participants l'ont trouvée insuffisante et 4% ne se sont pas prononcés sur la question.

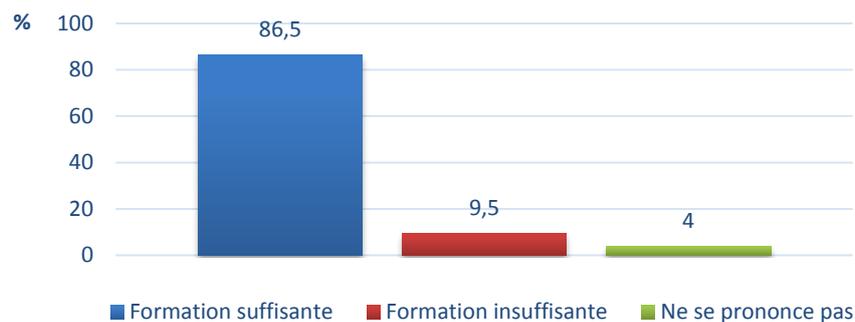


Figure 21: Evaluation de la formation à l'auto-application du garrot de membre

Ce qui revient à dire que près de 9 participants sur 10 ont jugé leur formation suffisante pour la mise en place d'un garrot tourniquet en auto-application

1.2. Utilité de l'exercice

Cet exercice a été jugé formateur pour 85,1% des participants. 10,8% ne l'ont pas trouvé utiles, et 4,1% ne se sont pas prononcés sur cette question. Une grande majorité des participants a donc adhéré à l'étude.

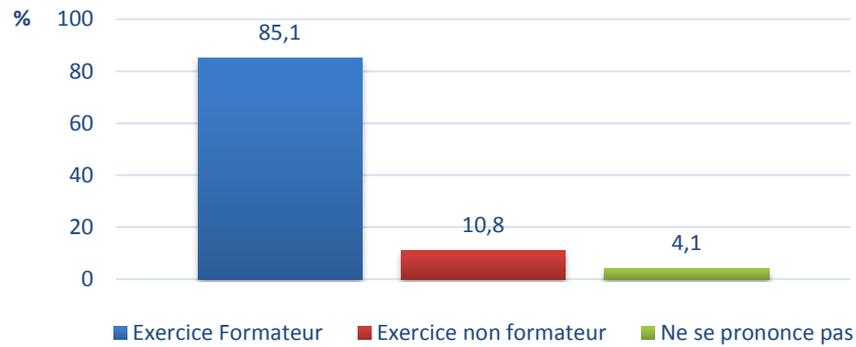


Figure 22 : Utilité de l'exercice réalisé

1.3. Utilisation du garrot de membre

La facilité d'utilisation du garrot de membre a été évaluée sur une échelle de 1 (utilisation très facile) à 5 (utilisation très difficile).

Une majorité des participants a jugé son utilisation « facile » (60,8%).

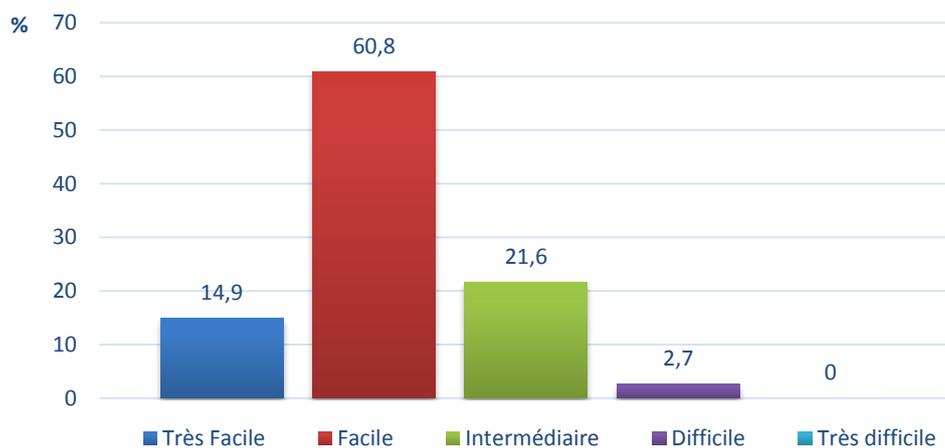


Figure 23 : Evaluation de la facilité d'utilisation du garrot de membre

1.4. Temps de pose du garrot de membre

L'évaluation du temps de pose du garrot de membre a été évaluée sur une échelle de 1 (temps estimé très court) à 5 (temps estimé très long).

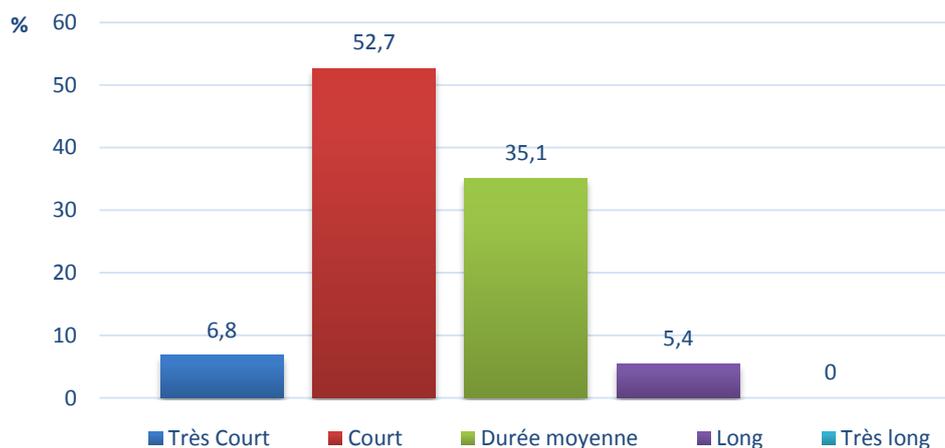


Figure 24 : Evaluation du temps de pose du garrot de membre

Une majorité des participants a jugé la durée d'application plutôt « courte » (52,7%).

1.5. Motif d'arrêt du serrage du garrot de membre

Pour cette question, les participants devaient choisir entre trois motifs : la douleur, une limite technique ou l'efficacité supposée.

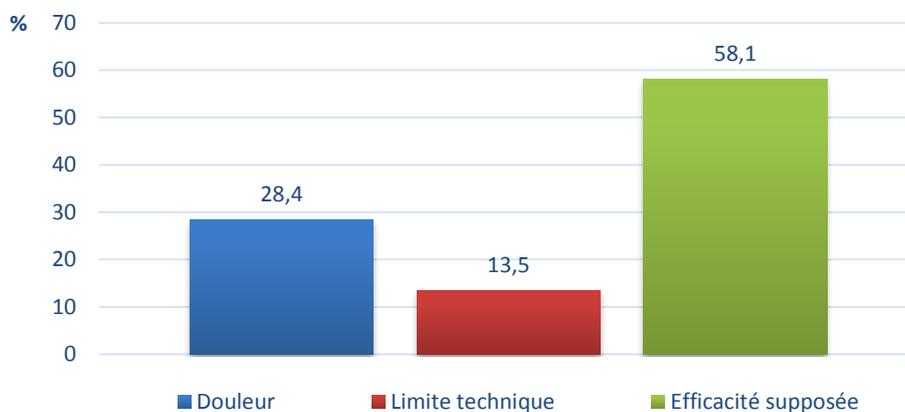


Figure 25 : Motif d'arrêt du serrage du garrot de membre

La majorité des participants a donné comme raison l'efficacité supposée, comme motif d'arrêt du serrage du garrot de membre (58,1%).

1.6. Evaluation de la douleur lors de la pose du garrot de membre

L'évaluation de la douleur ressentie lors de la pose du garrot de membre a été évaluée sur une échelle de 1 (indolore) à 5 (douleur insupportable).

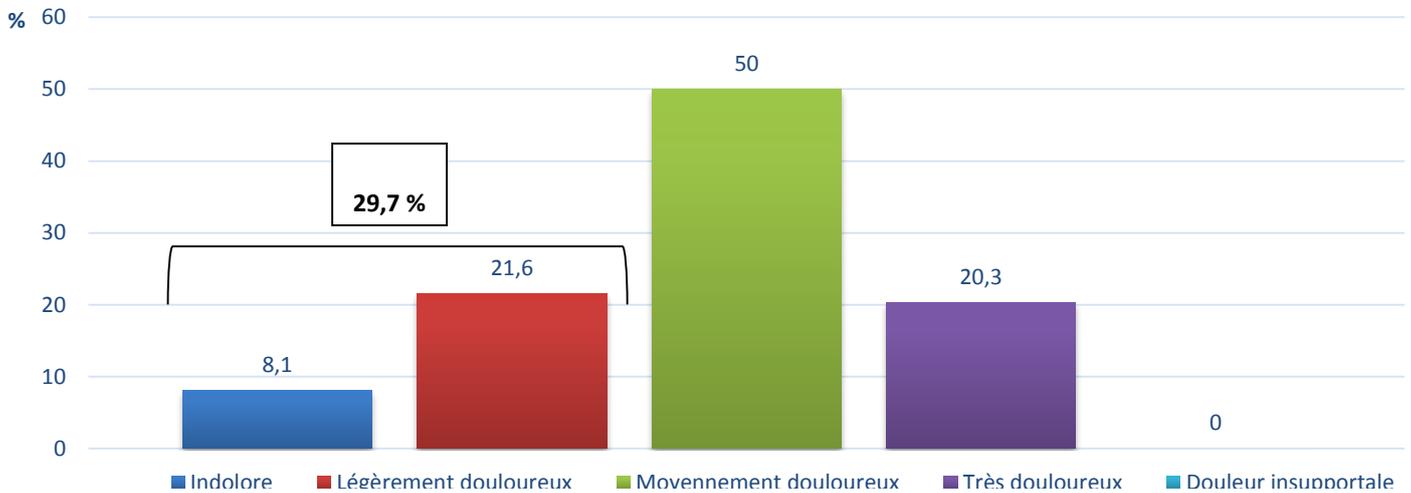


Figure 26 : Evaluation de la douleur ressentie pour la pose du garrot de membre

Une majorité des participants a jugé la douleur comme « moyenne », lors de la pose du garrot de membre (50%). On note que 29,7 % des participants ont jugé le garrot tourniquet comme « indolore ou légèrement douloureux ».

1.7. Evaluation de la douleur lors de la pose du dispositif de compression jonctionnelle

L'évaluation de la douleur ressentie lors de la pose du dispositif de compression jonctionnelle a été évaluée sur une échelle de 1 (indolore) à 5 (douleur insupportable).

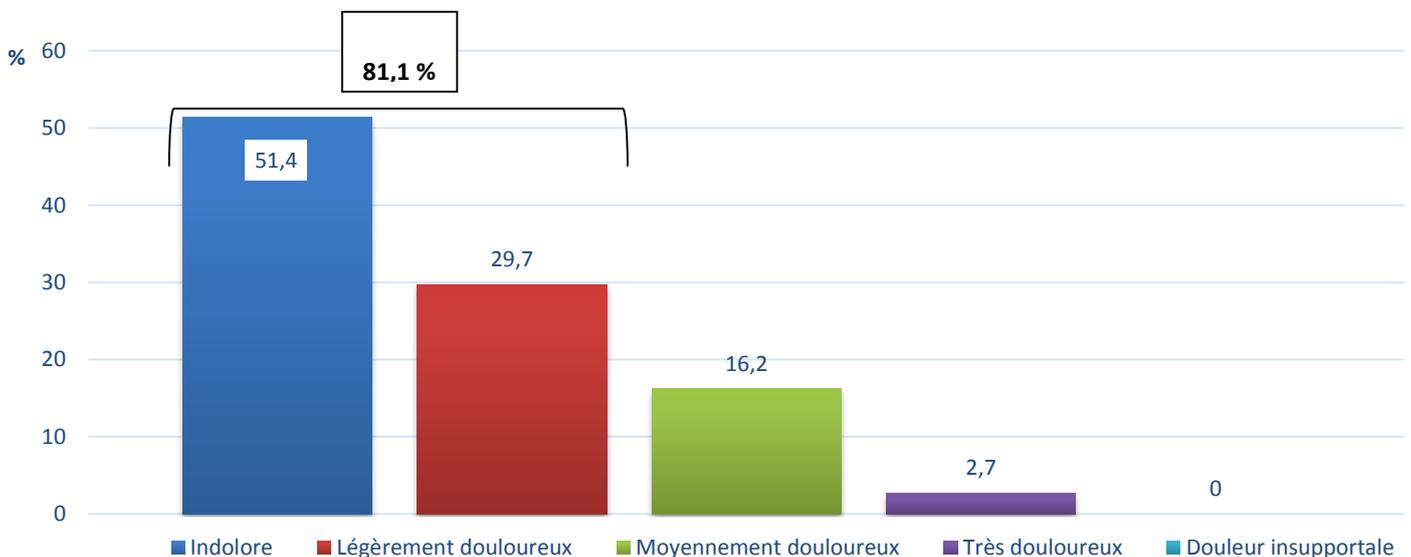


Figure 27 : Evaluation de la douleur ressentie pour la pose du dispositif de compression jonctionnelle CRoC/SJT

Une majorité des participants a jugé la pose du dispositif jonctionnel comme « indolore » (51,4%). On note que 81,1 % ont jugé le dispositif jonctionnel comme « indolore ou légèrement douloureux », contre 29,7% pour le garrot tourniquet.

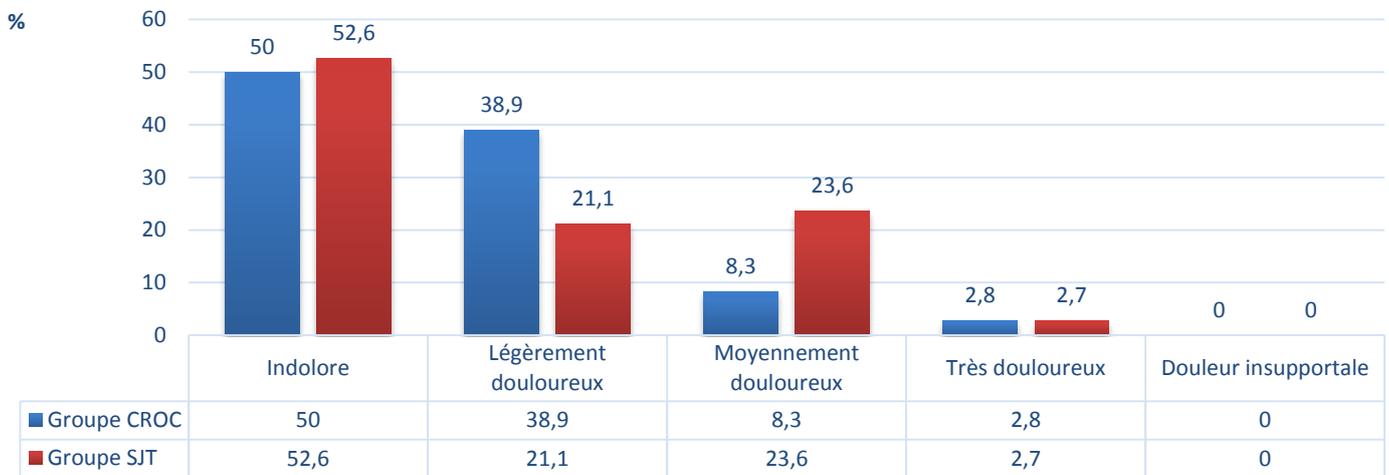


Figure 28 : Evaluation de la douleur ressentie selon le dispositif de compression jonctionnelle choisi (CROc ou SJT)

En comparant la moyenne de la douleur ressentie pour le CROc ou le SJT, on ne note pas de différence statistiquement significative avec un $p=0,53$. Ils sont donc comparables pour le ressenti douloureux, jugée le plus souvent comme inexistant à la différence du garrot tourniquet.

Si on compare la moyenne de la douleur ressentie pour le garrot tourniquet et celle ressentie pour le dispositif de compression jonctionnelle, on retrouve en revanche une différence significative avec un $p<0,0001$.

	Garrot tourniquet	CROc/SJT	Test de Student
Moyenne de la douleur ressentie (Echelle de 1 à 5)	2,82	1,70	$p<0,0001$

Tableau 10 : Comparaison de la douleur ressentie pour le garrot ou pour le dispositif jonctionnel

On peut donc en conclure que la douleur ressentie pour le dispositif jonctionnel (CROc ou SJT) est significativement moins forte que celle ressentie avec le garrot de membre.

2. Questionnaire d'évaluation du ressenti des poseurs du dispositif de compression jonctionnelle

Ce questionnaire a été rempli à l'issue de chaque exercice, par le binôme chargé de la pose du dispositif de compression jonctionnelle (CRoC ou SJT). 74 questionnaires (soit 100%) ont pu être ainsi interprétés dont 36 pour le groupe CRoC et 38 pour le groupe SJT.

2.1. Repérage du site à comprimer

Le repérage du site à comprimer a été évalué sur une échelle de 1 (repérage très facile) à 5 (repérage très difficile).

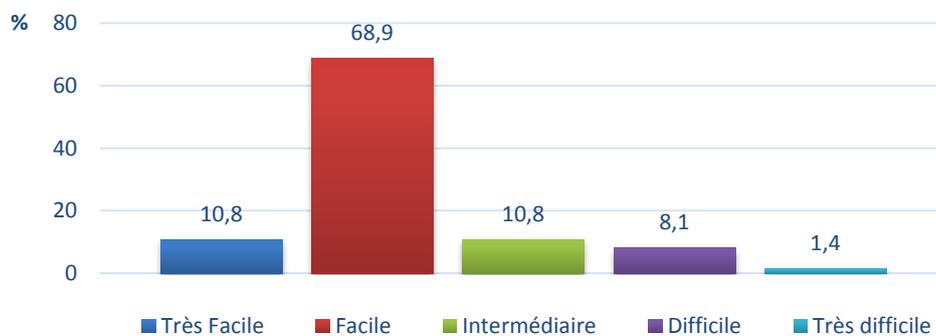


Figure 29 : Evaluation du repérage du site de compression

Une majorité des équipes ont donc jugé le repérage du site à comprimer comme « facile ».

2.2. Mise en place du dispositif de compression jonctionnelle

La facilité de mise en place du dispositif de compression jonctionnelle a été évaluée sur une échelle de 1 (mise en place très facile) à 5 (mise en place très difficile).

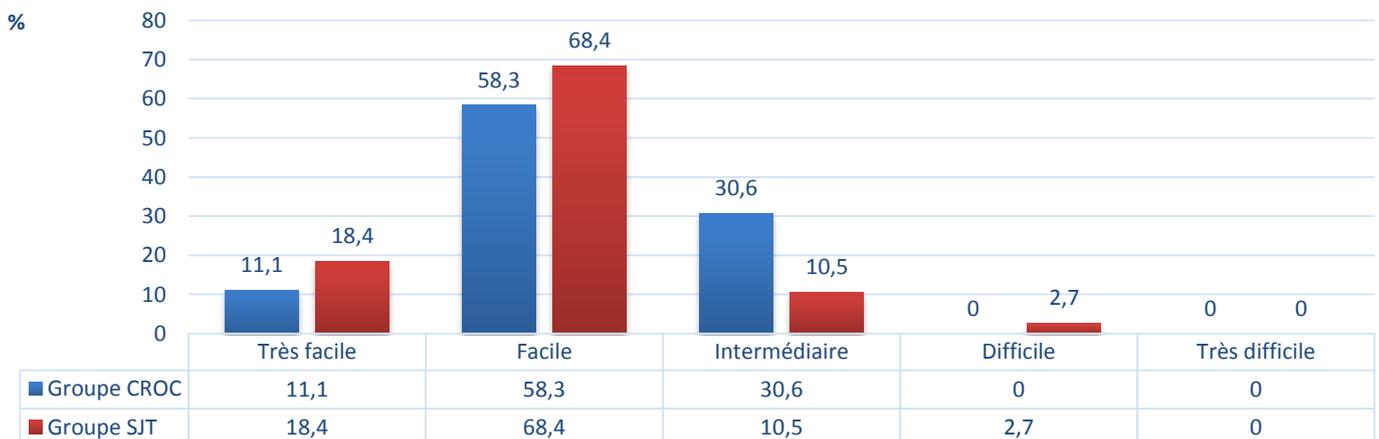


Figure 30 : Evaluation de la mise en place du dispositif de compression jonctionnelle (CRoC ou SJT)

On note qu'une majorité des équipes a jugé la mise en place « facile », que ce soit pour le groupe CRoC ou pour le groupe SJT.

Bien que l'utilisation du SJT semble plus facile, on ne note pas de différence significative en comparant la moyenne des deux groupes avec un $p=0,13$

	Groupe CRoC (N=36)	Groupe SJT (N=38)	Test de Student
Moyenne de l'évaluation de la mise en place du dispositif jonctionnel (Echelle de 1 à 5)	2,19	1,97	$p=0,13$

Tableau 11 : Comparaison de la facilité de mise en place du dispositif de compression jonctionnelle

2.3. Temps de pose du dispositif de compression jonctionnelle

Le temps de pose du dispositif de compression jonctionnelle a été évalué sur une échelle de 1 (pose très courte) à 5 (pose très longue).

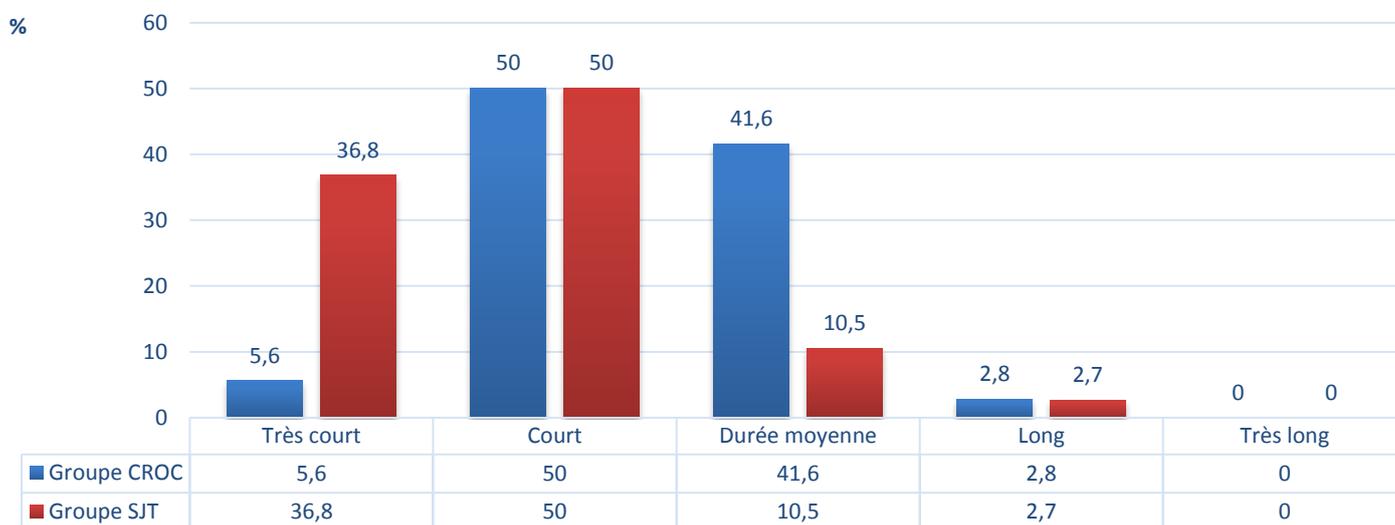


Figure 31 : Evaluation du temps de pose du dispositif de compression jonctionnelle (CRoC ou SJT)

On note qu'une majorité des équipes a jugé le temps de pose « court », que ce soit pour le groupe CRoC ou pour le groupe SJT.

En comparant la moyenne des deux groupes, on retrouve une différence significative avec un $p=0,0002$.

	Groupe CRoC (N=36)	Groupe SJT (N=38)	Test de Student
Moyenne de l'évaluation du temps de pose du dispositif jonctionnel (Echelle de 1 à 5)	2,42	1,79	$p=0,0002$

Tableau 12 : Comparaison de l'évaluation du temps de pose du dispositif de compression jonctionnelle

On peut donc en conclure que le temps de pose du SJT semble significativement moins long que celui du CRoC.

2.4. Effort demandé lors de la mise en place du dispositif de compression jonctionnelle

L'effort demandé lors de la mise en place du dispositif de compression jonctionnelle a été évalué sur une échelle de 1 (pas d'effort) à 5 (effort considérable).

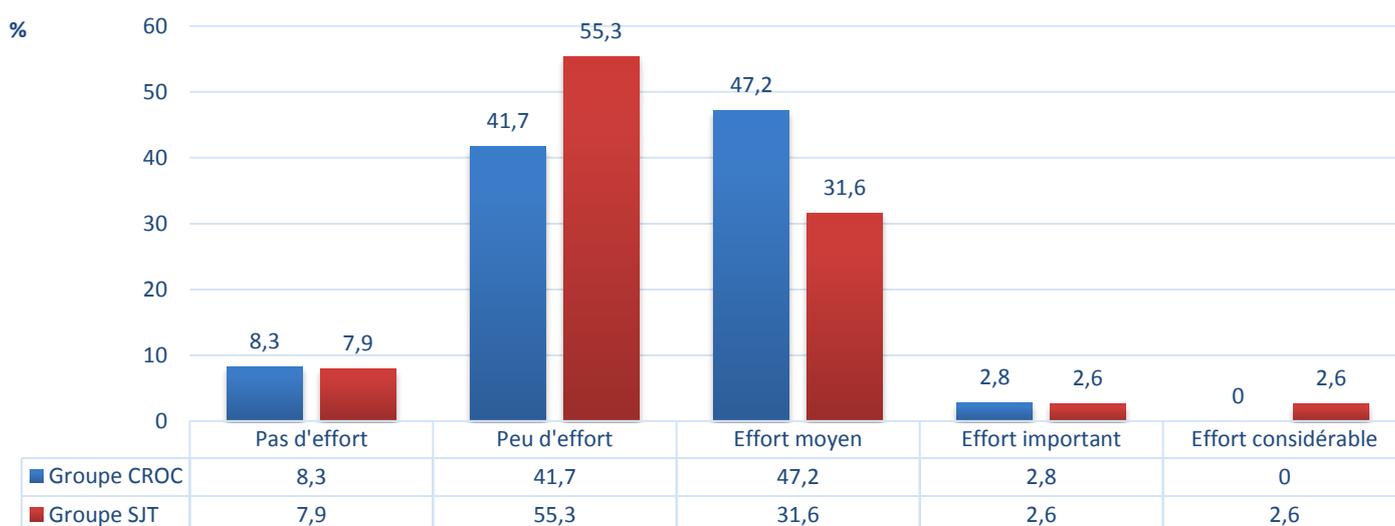


Figure 32 : Evaluation de l'effort demandé lors de la pose du dispositif de compression jonctionnelle (CRoC ou SJT)

On note qu'une majorité des équipes a jugé la mise en place du dispositif, comme demandant « peu d'effort » pour le groupe SJT, contre « un effort moyen » pour le groupe CRoC.

En comparant la moyenne des deux groupes, on ne retrouve cependant pas de différence significative avec un $p=0,66$.

	Groupe CRoC (N=36)	Groupe SJT (N=38)	Test de Student
Moyenne de l'évaluation de l'effort demandé lors de la mise en place du dispositif jonctionnel (Echelle de 1 à 5)	2,44	2,37	$p=0,66$

Tableau 13 : Comparaison de l'effort demandé lors de la pose du dispositif de compression jonctionnelle

2.5. Stabilité du dispositif de compression jonctionnelle

La stabilité du dispositif de compression jonctionnelle a été évaluée sur une échelle de 1 (très stable) à 5 (instable).

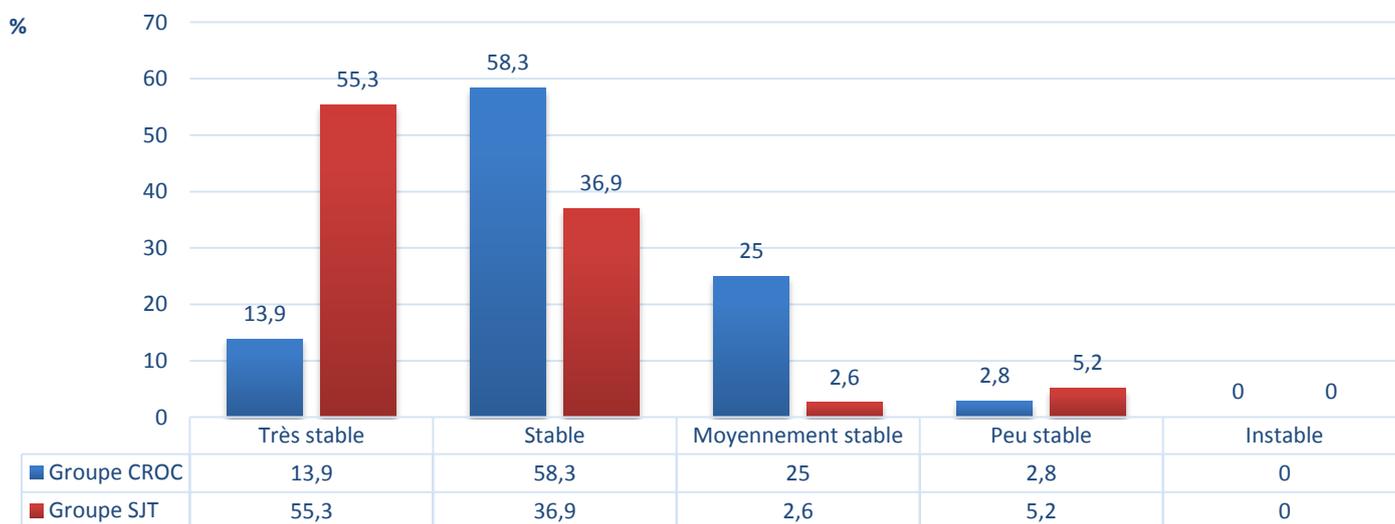


Figure 33 : Evaluation de la stabilité du dispositif de compression jonctionnelle (CRoC ou SJT)

On note qu'une majorité des équipes a jugé la stabilité du dispositif, comme « très stable » pour le groupe SJT, contre « stable » pour le groupe CRoC.

En réalisant un test statistique comparant la moyenne des deux groupes, on retrouve bien une différence significative avec un $p=0,001$

	Groupe CRoC (N=36)	Groupe SJT (N=38)	Test de Student
Moyenne de l'évaluation de la stabilité du dispositif jonctionnel (Echelle de 1 à 5)	2,17	1,58	$p=0,001$

Tableau 14: Comparaison de la stabilité du dispositif de compression jonctionnelle

On peut donc en conclure que la stabilité du SJT une fois mis en place semble significativement meilleure que celle du CRoC.

3. Synthèse de la phase III

Les questionnaires d'évaluation ont permis de souligner quelques enseignements. L'exercice réalisé a tout d'abord été jugé comme formateur par près de 9 volontaires sur 10.

Concernant le garrot tourniquet, 86% des participants ont estimé avoir reçu la formation nécessaire pour le poser en auto-application. La majorité a considéré sa pose comme « facile » (60,8%) et son temps d'application comme « court » (52,8%). Le motif d'arrêt du serrage a été majoritairement « son efficacité supposée » pour 58,1% des participants.

Le garrot tourniquet a été jugé en moyenne comme « moyennement douloureux » pour 50% des participants, contrairement au dispositif de compression jonctionnelle qui a été évalué comme « indolore » pour 51,4% des volontaires. On note d'ailleurs une différence significative en comparant la douleur ressentie avec le garrot tourniquet et celle avec le

dispositif de compression jonctionnelle ($p < 0,0001$). En revanche, on ne retrouve pas de différence significative en comparant la douleur ressentie avec le CRoC et le SJT ($p = 0,53$).

Bien que son utilisation semble plus facile, on n'a retrouvé aucune différence significative entre le CRoC et le SJT, pour l'évaluation de la mise en place du dispositif ($p = 0,13$). De même, la comparaison de l'effort demandé pour la mise en place des deux dispositifs est non significative ($p = 0,66$).

On note que le temps de pose du SJT a semblé significativement plus court que pour le CRoC ($p = 0,0002$). Le SJT a également été jugé comme le plus stable des dispositifs de manière significative ($p = 0,001$).

A la fin de la phase III, aucun effet indésirable n'a été rapporté par les participants.

V. Discussion

A. Analyse critique

1. Méthodologie

1.1. Rappel problématique

Devant l'augmentation croissante de décès évitables liés aux hémorragies jonctionnelles, des dispositifs militaires mécaniques sont apparus très récemment. Certains de ces dispositifs ont montré leur efficacité de manière expérimentale pour interrompre complètement une hémorragie jonctionnelle qu'elle soit axillaire ou inguinale. En raison de leur conception récente, très peu d'études cliniques ont été à ce jour publiées.

En se basant sur les résultats d'un travail de thèse qui a montré l'efficacité médiocre du garrot tourniquet en auto-application (65), nous avons voulu étudier l'efficacité d'un dispositif de compression jonctionnelle en complément d'un garrot inefficace, pour interrompre un flux artériel distal. Nous avons donc comparé le *Combat Ready Clamp* (CRoC), actuellement en dotation dans unités médicales opérationnelles (UMO) des rôles 1 de l'armée Française en opération extérieure, au *SAM Junctional Tourniquet* (SJT) apparu en 2013 et qui nous semble prometteur d'après la littérature.

L'objectif de cette étude était donc de comparer sur des volontaires sains, l'efficacité de ces deux dispositifs de compression ilio-fémorale au creux inguinal utilisés en médecine de guerre, lorsque les garrots conventionnels de type SOFTT sont insuffisants en auto-application, pour interrompre le flux artériel.

1.2. Population

Pour réaliser cette étude, nous avons choisi une population de militaires appartenant au Régiment Médical de La Valbonne. Ce régiment a pour vocation de mettre en œuvre les unités médicales opérationnelles du service de santé des armées. Son personnel est donc entraîné et aguerri au sauvetage au combat.

Nous avons donc proposé cette étude à des militaires de cette unité, en raison de leur entraînement et de leur sensibilisation à notre problématique. Nous nous sommes basés sur l'effectif d'une compagnie, qui représente environ 100 militaires et qui constitue la plus petite unité administrative autonome dans l'armée française. En prenant en compte les personnels non volontaires, et le taux d'efficacité du garrot de membre en auto-application d'après Leroulley (65), nous avons considéré cet effectif comme suffisant pour réaliser deux groupes d'environ 30 à 40 personnels.

1.3. Circonstances de l'étude

Afin de comparer ces dispositifs de manière plus significative, nous avons voulu réaliser l'étude dans des conditions réalistes, et se rapprocher le plus fidèlement d'une situation opérationnelle. Pour cela, les volontaires ont effectué les tests en tenue de combat, juste après la réalisation d'un parcours sportif comprenant de la course à pied et le port d'une charge lourde. Cet exercice visait à éprouver leur résistance et leur lucidité à poser un garrot en auto-application.

Cette mise en situation nous a permis de nous rapprocher d'une situation hémodynamique en état de stress, qui n'a jamais été évaluée dans la littérature.

On notera que pour des raisons pratiques, les participants ont réalisé l'expérience en tenue de combat mais sans leur arme, ni l'équipement de protection qui comprend notamment le gilet balistique. L'ajout de cet équipement de protection aurait sans doute compliqué davantage la pose de ces dispositifs.

1.4. Mesures échographiques

Toutes les mesures échographiques ont été effectuées par un seul opérateur, médecin radiologue sur l'Hôpital d'Instruction des Armées de Desgenettes.

Le critère d'efficacité a été défini comme l'absence totale de flux artériel poplité ou *no flow*. Ce critère de « no-flow » a été retenu car il est dichotomique, reproductible et sensible. Au contraire, la persistance d'un flux même très atténué ou *flow*, était considérée pour l'étude comme une pose inefficace, même si en pratique clinique une réduction importante du flux artériel s'accompagne d'une réduction des pertes sanguines.

L'avantage de l'écho-doppler, outre son caractère non-invasif, a été de pouvoir mesurer en continu le flux artériel pendant les phases de « compression » pour déterminer le moment précis où le flux artériel était stoppé. Ce procédé nous a permis de mesurer avec précision le degré de compression nécessaire pour obtenir l'efficacité complète. De même à la fin de chaque pose, lors de la décompression on a recherché systématiquement la réapparition du flux vasculaire afin de s'affranchir de faux positifs.

Les mesures ont cependant été effectuées en simple aveugle : la nature du dispositif posé était ainsi connue par l'échographiste et aurait pu influencer son jugement. Cet élément entraîne donc un biais d'évaluation, dont nous n'avons pas pu nous affranchir en raison du volume des dispositifs étudiés.

1.5. Repérage du site à comprimer

Le repérage du site à comprimer a pu être défini, lors de la formation préalable à l'utilisation des deux dispositifs. Pour faciliter la mise en place, deux bouts de sparadraps en forme de croix ont été systématiquement appliqués.

Le repère horizontal a été défini par la ligne passant entre les deux grands trochanters fémoraux retrouvés à la palpation. Le repère vertical était défini par la perception du pouls fémoral sur cette ligne.



Photographie 25: Repérage du site à comprimer avec recherche du pouls fémoral

Ce repérage a été effectué par-dessus la tenue de combat et a été évalué majoritairement comme « facile » par les équipes qui ont posé le dispositif. Cet élément pourrait permettre son utilisation par un auxiliaire sanitaire, afin de faciliter sa pose au plus près des combats et réaliser l'hémostase de manière plus précoce.

On note que ce repère diffère de celui recommandé par le fabricant qui préconise de comprimer directement le ligament inguinal, c'est-à-dire au milieu d'une ligne qui rejoint l'épine iliaque antéro-supérieure au pubis. Lors d'essais préalables nous avons noté que ce repère semblait plus difficile à prendre, le pouls étant moins bien perçus. De plus cette localisation était jugée plus inconfortable par le sujet.

1.6. Pose des dispositifs

La pose des dispositifs a été réalisée par 4 binômes différents composés d'un médecin et d'un infirmier, qui ont tourné sur l'exercice. La multiplicité des poseurs engendre donc un biais d'évaluation. On note que chaque équipe a posé un nombre égal de CRoC ou de SJT, afin que chaque binôme souligne les difficultés rencontrées lors de la mise en place des deux dispositifs. La multiplicité des équipes a donc permis une meilleure évaluation de l'ergonomie du matériel (temps de mise en place, stabilité, facilité d'utilisation...).

On pourra critiquer le fait de n'avoir posé qu'un seul dispositif de compression jonctionnelle pour chaque sujet, sauf en cas d'échec. Pour une meilleure comparabilité, il aurait été préférable d'utiliser les deux dispositifs jonctionnels pour tous les sujets, chaque sujet devenant son propre témoin. La volonté de réduire le temps de compression par sujet (< 5 minutes) a été prioritaire.

On note que tous les dispositifs ont été posés par un binôme facilitant leur mise en place. D'autres études pourront être réalisées afin d'évaluer la pose par un seul personnel.

1.7. Questionnaires

Les questionnaires ont visé à noter les difficultés rencontrées lors de la pose des différents dispositifs et ont permis une évaluation subjective basée sur différents critères.

Leur élaboration reste tout à fait subjective. Nous avons choisi pour chaque critère une échelle de 1 à 5. Ils ont tous été remplis individuellement à l'issue de chaque manipulation, permettant d'évaluer « à chaud » le ressenti et de s'affranchir de réponses collectives.

1.8. Puissance de l'étude

Bien que respectant les objectifs que nous nous étions fixés, on pourra critiquer le manque de puissance de cette étude en raison de son trop faible effectif. On notera que pour des raisons de service, 17 personnels n'ont pu participer à cette étude.

2. Résultats

2.1. Littérature

Depuis leur conception, plusieurs études expérimentales ont évalué l'efficacité de ces dispositifs de compression jonctionnelle. Le modèle utilisé était soit des cochons perfusés (39), soit des mannequins perfusés (59), ou soit des cadavres perfusés (42).

Très peu d'études cliniques ont évalué l'efficacité de ces dispositifs sur volontaires sains.

Ainsi, à la date de cette discussion (novembre 2014), pour une application inguinale :

- Aucune étude n'a étudié l'utilisation d'un dispositif de compression jonctionnelle en association avec un garrot tourniquet, jugé inefficace ou insuffisamment efficace.
- Une seule étude a évalué l'efficacité du CRoC seul sur des volontaires sains avec le même critère d'évaluation, soit l'abolition du flux artériel poplité (44).
- Aucune étude n'a évalué le SJT seul, sur des volontaires sains.
- Une seule étude récente a comparé les 4 dispositifs dont le CRoC et le SJT sur volontaires sains, au niveau inguinal (58). Cette étude menée par Kragh, a évalué les 4 dispositifs (AAJT, CRoC, JETT et SJT) sur 9 médecins militaires américains aguerris au sauvetage au combat. Les médecins ont été à la fois poseur et victime. Chaque médecin a posé les 4 dispositifs au creux inguinal droit et gauche sur un autre médecin (sauf l'AAJT qui était posé au niveau ombilical), soit 8 poses différentes. En tout 72 poses ont donc été effectuées. L'efficacité était définie, comme dans notre étude par l'abolition du flux doppler artériel distal (au niveau de l'artère tibiale postérieure). On note que l'étude était réalisée en tenue de combat comme la nôtre, mais en revanche au repos (sans exercice physique préalable).
- On note que plusieurs études comparatives sont en cours d'élaboration et devraient être publiées en 2015.
- Concernant les cas cliniques rapportant une utilisation réelle des dispositifs, un cas a été rapporté pour le CRoC (45), et un autre pour le SJT (57).

2.2. Composition des groupes

74 participants ont finalement été inclus dans notre étude, soit 67,3% de la population totale lors de la phase I (N=110). Ce qui représente environ 2/3 des effectifs totaux. Ce chiffre

correspond aux objectifs que nous nous étions fixés, et nous a permis de former deux groupes randomisés en fonction du dispositif de compression jonctionnelle choisi.

Le groupe CRoC était composé de 36 personnels et le groupe SJT de 38. On note que l'analyse comparative des critères démographiques concernant l'âge, l'IMC, le sexe, le grade, le nombre d'années de service, le nombre d'opérations extérieures, le niveau de sauvetage au combat, la tension artérielle et la fréquence cardiaque lors de l'inclusion n'a mis en évidence aucune différence significative entre les deux groupes.

Cet élément nous permet de nous affranchir d'éventuels biais de confusion pour l'interprétation des résultats de notre étude.

2.3. Efficacité du dispositif de compression jonctionnelle en cas d'insuffisance du garrot tourniquet

La pose du garrot de type SOFTT en auto-application à la racine du membre a été totalement efficace pour seulement 11,9% des participants. Ce résultat bien qu'inférieur reste proche de celui retrouvé par Leroulley dans son étude (65), qui était de 23,7%.

Ce résultat contraste avec plusieurs études américaines. En effet Walters et al. ont retrouvé une efficacité supérieure à 80 %, dans des conditions expérimentales semblables (66). Cette différence est probablement liée à la mise en condition réaliste dans notre étude et celle de Leroulley. La situation de stress créée par l'exercice physique, ainsi que la tenue de combat ont contribué à rendre la pose du tourniquet en auto-application plus difficile. Cet élément est important à prendre en compte lors de la mise en place du garrot. Les volontaires ont ainsi pu réaliser la difficulté de l'auto-application, en situation réaliste.

Pour les 74 personnels inclus, l'ajout d'un dispositif de compression jonctionnelle, en cas d'insuffisance ou d'inefficacité du garrot tourniquet, a permis d'interrompre le flux artériel au niveau poplité dans 89,5% des cas pour le groupe SJT et dans 97,2% pour le groupe CRoC, sans différence significative. Pour tous les échecs, on souligne que le flux artériel au doppler pulsé était franchement atténué autour de 20 cm/s.

On note donc la très bonne efficacité de ces deux dispositifs pour cette situation, voisine de 90%.

L'analyse des échecs nous a permis de souligner quelques tendances. Même si aucune corrélation ne peut être affirmée statistiquement, les deux dispositifs semblent plus difficiles à appliquer sur des sujets avec un IMC élevé et/ou un profil de pression artérielle plus élevé. Cette analyse nous permet ainsi de rapporter quelques limites dans la mise en place de ces dispositifs de compression jonctionnelle.

Aucune étude à ce jour dans la littérature n'a évalué l'indication et l'efficacité d'un dispositif de compression jonctionnelle, en cas d'insuffisance du garrot tourniquet pour interrompre un flux artériel distal. Situation qui pourrait correspondre à un authentique cas clinique.

2.4. Efficacité du dispositif de compression jonctionnelle utilisé seul

2.4.1. Sans resserrage

L'efficacité du dispositif de compression jonctionnelle, juste après l'ablation du garrot de membre a été mesurée immédiatement. On a ainsi retrouvé une efficacité pour le SJT significativement supérieure à celle du CRoC.

Cette différence d'efficacité est probablement liée au mode de compression de chaque dispositif. En effet le CRoC dispose d'un moyen de compression linéaire grâce à une vis qui permet d'augmenter la précision. En revanche, le SJT possède un modèle de compression par palier grâce à une pompe de pression. Ainsi, lors de l'application du SJT, on a engendré une pression locale plus importante que pour le CRoC, afin de s'affranchir d'un flux résiduel. Lors de l'ablation du garrot de membre, on a donc retrouvé une meilleure efficacité pour le SJT.

On peut également souligner que la surface de compression du SJT est plus large (plane) que celle du CRoC (demi-sphère).

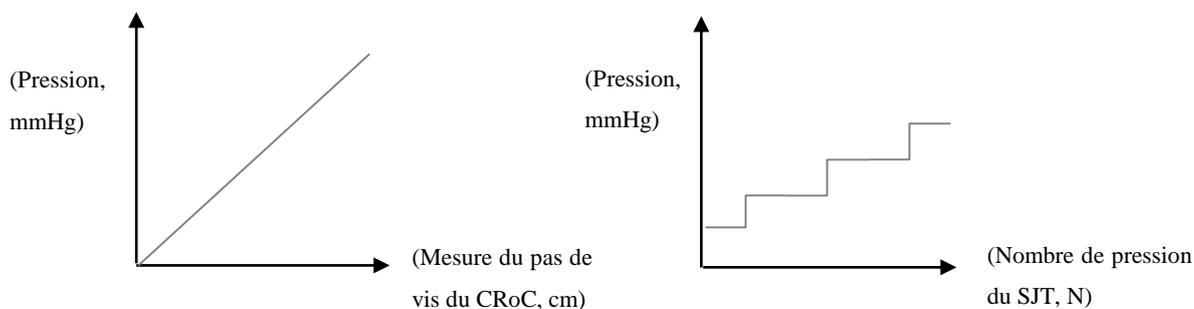


Figure 34 : Comparaison de l'élévation de la pression de compression pour le CROC (linéaire) et le Sjt (palier)

Ainsi lorsqu'un dispositif jonctionnel est appliqué en complément d'un garrot tourniquet, le Sjt permettrait de mieux compenser l'insuffisance ou le desserrement du garrot, que le CROC.

2.4.2. Après resserrage

L'efficacité du Sjt et du CROC après resserrage, ont été respectivement comparables, autour de 90%, sans différence significative.

L'analyse des échecs dans cette situation nous a permis de souligner les mêmes tendances que lors de son utilisation avec le garrot. Ainsi, si aucune corrélation ne peut être affirmée statistiquement, les deux dispositifs semblent plus difficiles à appliquer sur des sujets avec un IMC élevé et/ou un profil de pression artérielle plus élevé. Comme lors de son association avec le garrot, dans les poses inefficaces, on souligne que le flux artériel au doppler pulsé était franchement atténué autour de 20 cm/s.

Concernant la pression artérielle, ces résultats montrent qu'en situation de stress hémodynamique, le CROC ou le Sjt seraient plus difficiles à appliquer efficacement. En cas de blessure hémorragique, la pression artérielle a tendance à augmenter en phase aiguë, avant de progressivement diminuer pour constituer un état de choc hémorragique. On peut donc en conclure que l'application précoce du dispositif serait plus difficile.

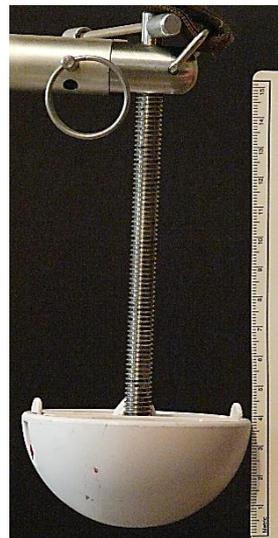
Concernant l'IMC, on note que les dispositifs sont plus difficiles à appliquer lorsqu'il est élevé. Cette tendance présente pour les deux dispositifs, semble plus prononcée pour le Sjt, sans différence significative. La raison principale est probablement liée à la différence de

hauteur de compression. Ainsi pour le SJT, la hauteur maximale de compression, obtenue pour 14 pressions manuelles sur la pompe de gonflage, est de 7 cm.



Photographie 26: Hauteur totale maximale du TCD, sur le SJT

Pour le CRoC, la hauteur maximale de compression, liée à la hauteur du pas de vis et de celle de la demi-sphère, est de 14 cm.



Photographie 27: Hauteur totale maximale de compression du CRoC

Cette différence laisse donc supposer que le CRoC serait plus facile à appliquer sur les sujets avec un IMC élevé, que le SJT. Ces conclusions doivent cependant être relativisées en

regard du manque de puissance de notre étude, et du faible effectif des sujets avec pose inefficace.

L'efficacité des deux dispositifs utilisés sans le garrot, est donc très bonne pour interrompre efficacement un flux artériel distal. On ne peut cependant pas démontrer la supériorité d'un des dispositifs dans cette indication.

Ce résultat concorde avec la seule étude réalisée sur volontaires sains dans la littérature pour le CRoC ; Cotte et al. ont retrouvé 96,7% d'efficacité pour le CRoC utilisé sur 30 volontaires sains (44). Les auteurs soulignent que le seul échec constaté, présentait un IMC élevé.

Dans la seule étude comparative publiée sur volontaires sains, Kragh et al. retrouvent des résultats comparables avec une inversion des tendances par rapport à notre étude (58). L'efficacité a été ainsi évaluée à 100% pour le SJT contre 94% pour le CRoC, mais sans différence significative ($p=0,187$). On note que l'efficacité de ces deux dispositifs était supérieure aux deux autres dispositifs (89% pour JETT et 11% pour l'AAJT), de manière significative ($p<0,001$).

2.5. Temps de pose

L'évaluation du temps moyen de pose, a mis en évidence une différence significative en faveur du SJT (86 secondes vs 34 secondes ; $p<0,00001$).

Cette différence est principalement liée au temps de montage du CRoC, le SJT étant déjà préassemblé.

Le SJT est donc le dispositif le plus rapide à appliquer. Ce résultat doit être pris en compte car le temps de pose est primordial dans la survie d'un blessé avec un traumatisme jonctionnel, le décès par exsanguination pouvant survenir en quelques secondes.

Dans leur étude, Kragh et al. ont mesuré un temps de pose moyen de 80 secondes pour le CRoC contre 78 secondes pour le SJT (58). Les auteurs ne retrouvent pas de différence significative ($p=0,09$).

Cette absence de différence significative contraste avec notre étude. Cependant, on souligne que dans cette étude, les différents dispositifs étaient utilisés préassemblés. Le temps de montage n'était ainsi pas pris en compte. Cet élément tendrait à sous-estimer le temps de pose total du CRoC, le SJT ne nécessitant aucun montage particulier. On note également que dans notre étude chaque dispositif était appliqué par un binôme, contrairement à cette étude où un seul utilisateur était désigné. La pose dans notre étude était donc plus rapide pour le SJT qui nécessite notamment de passer la ceinture sous la victime.

2.6. Sûreté des dispositifs

Aucun évènement indésirable n'a été constaté pendant l'étude que ce soit pour le CRoC ou le SJT. L'inconfort ou la douleur ressentie disparaissait immédiatement après le retrait du matériel. On note qu'à la suite de cette étude aucune complication ou effet indésirable n'a été signalé, avec un recul de 5 mois.

2.7. Données qualitatives

Ces données ont été collectées par 100% des participants et 100% des équipes qui ont posé un dispositif de compression jonctionnelle, à l'issue de chaque manipulation. Aucun individu n'a été perdu de vue, ce qui renforce l'exhaustivité des réponses et la significativité de ces résultats. Bien que subjective, l'analyse de ces questionnaires a permis de retenir des tendances fortes.

2.7.1. Douleur

Lors de l'application d'un dispositif de compression jonctionnelle (CRoC ou SJT), la douleur a été ressentie comme « inexistante » par la majorité des participants. En comparant la moyenne de la douleur ressentie pour le CRoC ou le SJT, on ne note aucune différence statistiquement significative.

En revanche, si on compare la douleur ressentie pour le garrot tourniquet et celle ressentie pour le dispositif de compression jonctionnelle, on note qu'environ 80% des participants ont jugé le dispositif jonctionnel comme « indolore ou légèrement douloureux », contre seulement 30% pour le garrot tourniquet. Cette différence est significative. Ainsi la douleur ressentie pour le dispositif jonctionnel (CRoC ou SJT) est significativement moins forte que celle ressentie avec le garrot tourniquet.

Cet élément nous permet de relativiser l'utilisation d'un dispositif de compression jonctionnelle en complément d'un garrot tourniquet.

Cependant ce critère reste très subjectif et présente une très grande variabilité interindividuelle. De plus, il est difficile de rapporter ces résultats à une situation réelle. En effet la douleur d'un traumatisme jonctionnel, souvent importante rend presque anecdotique celle liée au garrot.

2.7.2. Facilité de mise en place

La mise en place du dispositif SJT a semblé plus facile que celle du CRoC, bien qu'aucune différence significative n'ait été prouvée. Aucune conclusion ne peut ainsi être apportée sur cette rubrique avec les effectifs de notre étude.

2.7.3. Temps de pose

Le temps de pose du SJT a été jugé de manière significative comme plus rapide que celui du CRoC, confirmant son évaluation objective.

2.7.4. Effort demandé lors de la mise en place

Aucune différence n'a pu être retrouvée dans l'évaluation de l'effort demandé lors de la mise en place du dispositif. Que ce soit pour le CRoC ou le SJT, une partie du dispositif doit être glissée sous la victime afin de réaliser la fixation. Sa mise en place dans notre étude a été effectuée par un binôme, la rendant plus facile. En situation opérationnelle, son utilisation à l'avant par un seul personnel serait donc ardue. Une autre étude pourrait évaluer cet aspect.

2.7.5. Stabilité

Enfin, le dispositif SJT a été jugé plus stable que le CRoC de manière significative. Cet élément bien que subjectif, reste important dans l'évaluation d'un dispositif de compression jonctionnelle, notamment lors de l'évacuation de la victime. Est-ce que le dispositif peut maintenir une compression efficace et durable lors d'un transport en brancard que ce soit par voie terrestre ou aérienne ? Une étude pourrait par exemple être réalisée, afin d'évaluer l'efficacité du dispositif avant et après le brancardage d'une victime en terrain accidenté.

2.7.6. Précisions sur la pose du SJT et du CRoC par les utilisateurs

A l'issue de notre étude, les équipes qui ont posé les dispositifs ont soumis quelques remarques, visant à améliorer l'utilisation des deux dispositifs.

Ils ont tout d'abord rappelé l'importance du repérage de la zone à comprimer. Ce repérage est rapide mais nécessaire pour optimiser la compression artérielle. Le point de compression est défini par l'intersection entre une ligne horizontale passant par les deux trochanters et une ligne verticale passant par le pouls fémoral. Afin d'éviter de perdre ce repérage, ils ont proposé de le marquer systématiquement avec du sparadrap.

- Concernant le CRoC, ils ont recommandé de bien adapter le bras vertical et horizontal à la morphologie de la victime, afin de gagner en stabilité et en précision. Ils ont précisé de ne pas trop serrer le dispositif qui peut contribuer à faire pencher le disque de pression et réduire la compression artérielle.
- Concernant le SJT, ils ont recommandé de bien serrer le dispositif, indiqué par un « clic », afin de gagner en hauteur de compression. En effet, le TCD a tendance à remonter lors du gonflage si la ceinture n'est pas assez ajustée. Ils ont noté également de bien maintenir les jambes en rotation neutre, lors du gonflage du TCD. Une rotation externe a ainsi tendance à faire pivoter le TCD et réduire la compression artérielle.

2.7.7. Conclusions

D'un point de vue subjectif, les utilisateurs des deux dispositifs ont préféré le SJT en raison de sa meilleure stabilité et de son temps d'application jugé plus court.

Dans l'étude de Kragh (58), une évaluation subjective a été effectuée pour les 9 médecins-poseurs des 4 dispositifs. Ils devaient répondre à cette question « si vous deviez partir au combat rapidement, lequel de ces 4 dispositifs prendriez-vous avec vous ? », en classant les 4 dispositifs de 1 = « pire » à 4 = « meilleur ». Les scores étaient ensuite additionnés. De manière significative, les utilisateurs ont préféré utiliser le CRoC ou le SJT, plutôt que le JETT ou l'AAJT. En revanche, il n'est noté aucune différence significative entre le CRoC et le SJT (26 vs 33, $p=0,187$).

Rang	CRoC	AAJT	JETT	SJT
4	28	0	0	8
3	3	6	3	15
2	2	6	8	2
1	0	4	4	1
Total	33	16	15	26

Tableau 15 : Préférence des utilisateurs dans le choix du dispositif de compression jonctionnelle d'après (58)

B. Synthèse

1. Comparaison CRoC/SJT

1.1. Données actuelles

1.1.1. Evaluation objective

Les résultats de cette étude ont montré la très grande efficacité de ces deux dispositifs, pour interrompre un flux artériel distal, dans des conditions expérimentales réalistes. Il n'a été noté aucune différence significative entre le CRoC et le SJT, lorsqu'ils sont utilisés en association avec le garrot ou lorsqu'ils sont utilisés seuls.

On note que les deux dispositifs ont été plus difficiles à appliquer sur des personnels avec un IMC élevé, et un profil tensionnel plus haut, bien qu'aucune différence significative n'ait pu être démontrée, que ce soit pour le CRoC ou le SJT.

Concernant ces données objectives, les résultats concordent avec la littérature qui positionne le CROC et le SJT statistiquement au-dessus des deux autres dispositifs, le JETT et l'AAJT. Comme dans notre étude, il n'est constaté aucune différence significative entre le CRoC et le SJT (44), (58).

A efficacité semblable, nous pensons que le SJT présente des atouts par rapport au CRoC.

- Le SJT est plus rapide que le CRoC à appliquer efficacement. Cette différence est significative dans notre étude.
- Le SJT rend possible une compression bilatérale, contrairement au CRoC qui nécessite l'ajout d'un autre dispositif.
- Le SJT est également le seul dispositif à posséder l'indication pour la stabilisation d'une fracture pelvienne. Ces fractures du bassin sont en effet très souvent associées à des amputations traumatiques des membres inférieurs (55).
- Le SJT est beaucoup moins cher (279 USD vs 654 USD pour le CRoC).

- Le SJT est moins lourd (499 grammes vs 799 grammes pour le CRoC).
- Le SJT est en revanche plus volumineux (1,5L vs 0,8L pour le CRoC), mais l'essentiel du volume est lié à la ceinture pelvienne. Comme chaque équipe médicale doit disposer d'une ceinture pelvienne, le volume de cette ceinture associée au CRoC serait ainsi supérieur à celui du SJT seul.

1.1.2. *Evaluation subjective*

Les deux dispositifs sont comparables en termes de douleur, jugée comme inexistante pour la majorité des participants. Dans notre étude, les utilisateurs ont préféré le SJT en raison de la meilleure stabilité du dispositif et de son temps d'application jugé plus court.

Dans l'étude de Kragh, les utilisateurs ont préféré le CRoC au SJT bien que la différence entre les deux soit non significative (58), (cf tableau 15).

1.2. **Données à étudier**

Une analyse bibliographique de l'utilisation des dispositifs de compression jonctionnelle a été menée par l'agence Canadienne du médicament en 2013 (67). Cette étude a montré que l'efficacité, le rapport coût-efficacité, les effets sur une application au long terme, ou la sûreté des différents dispositifs de compression jonctionnelle était insuffisamment étudiée. Aucune ne permet jusqu'à présent de démontrer la supériorité d'un des 4 dispositifs.

1.2.1. *Application prolongée*

Deux études publiées l'année dernière ont commencé à évaluer les effets d'une application prolongée.

Kheirabadi et al. ont évalué les effets du CRoC sur des cochons, après 2 heures d'application (68). Les cochons étaient anesthésiés et une blessure de l'artère fémorale était reproduite. Les auteurs ont constitué deux groupes : le groupe CRoC composé de 6 cochons pour lequel le CRoC était appliqué au niveau inguinal sur un pansement hémostatique, et le groupe témoin composé de 5 cochons pour lequel un pansement hémostatique était

simplement appliqué. Puis deux heures après, l'hémostase était effectuée de manière chirurgicale pour les deux groupes. Les résultats de cette étude ont montré une réversibilité totale de l'ischémie pour 5 des 6 cochons du groupe CRoC, qui ont retrouvé une pleine mobilité sous 9 jours. Ce délai était de trois jours pour le groupe témoin. Par contraste, une application du CRoC plus proximale (ombilicale) pour un contrôle bilatéral a induit une nécrose musculaire étendue avec un retentissement fonctionnel certain. Les auteurs soulignent donc la sûreté du dispositif pour une application inguinale, mais émettent des réserves pour une application plus proximale.

Dans une autre étude, Davidson et al. ont voulu quantifier la perfusion musculaire résiduelle lors de l'application d'un garrot jonctionnel de type SJT (69). Ils ont utilisé l'échographie de contraste afin de mesurer la perfusion tissulaire au niveau des muscles de la cuisse et de la jambe, lors de l'application du SJT sur 10 volontaires sains. Pour tous les sujets, l'application du SJT de manière efficace a été confirmée par l'absence de flux doppler au niveau de l'artère fémorale et tibiale postérieure. L'échographie de contraste a permis de mettre en évidence une perfusion musculaire résiduelle de 25 à 35%. Les auteurs soulignent que cette perfusion résiduelle liée à la vascularisation collatérale demeure suffisante pour permettre la viabilité tissulaire. Ainsi, contrairement à un garrot circonférentiel, le dispositif de compression jonctionnelle permettrait une meilleure perfusion tissulaire par son application locale.

Ces données sont prometteuses et laissent entendre qu'une application prolongée serait envisageable en toute sécurité.

1.2.2. *Application axillaire*

Bien que moins fréquentes, les hémorragies jonctionnelles au creux axillaire demeurent bien présentes en médecine de guerre (11).

L'indication d'une application axillaire pour le CRoC et le SJT a été validée récemment par le FDA. Quelques études ont évalué leur efficacité expérimentale dans cette indication,

qui semble excellente. Aucune étude comparative n'a été publiée à ce jour. L'évaluation de cet aspect sera essentielle pour le choix du meilleur dispositif.

1.2.3. *Etude dynamique*

Comme nous l'avons vu, aucune étude n'a évalué l'efficacité de ces deux dispositifs en situation dynamique, lors du transport de la victime. Cet aspect demeure cependant fondamental et pourra être étudié pour chaque dispositif dans une prochaine étude.

1.3. **Conclusions**

Notre étude et la littérature ne nous permettent pas de démontrer la supériorité en termes d'efficacité d'un des deux dispositifs de compression jonctionnelle. A efficacité semblable, on souligne cependant un certain nombre de critères en faveur du SJT. Cependant, beaucoup de données restent inconnues et demandent à être explorées.

2. **Recommandations**

2.1. **Indications**

En l'absence de preuve scientifique de supériorité d'un des dispositifs, nous recommandons l'utilisation soit du CRoC, soit du SJT lorsque l'indication le permet. Si on a accès aux deux dispositifs, on privilégiera le SJT en raison du temps d'application jugé plus rapide et de sa ceinture pelvienne intégrée.

2.1.1. *Contrôle d'une hémorragie des membres inférieurs.*

<p>Cette hémorragie est garrotable. Un garrot tourniquet doit être installé à la racine du membre le plus rapidement possible. En cas de garrot insuffisamment efficace, on pourra resserrer le garrot et en appliquer un deuxième au-dessus du premier. En cas d'inefficacité du ou des garrots, on devra associer le plus rapidement possible, un dispositif de compression jonctionnelle (CRoC ou SJT).</p>
--

2.1.2. Contrôle d'une hémorragie jonctionnelle au creux inguinal.

Cette hémorragie est non garrotable. Nos recommandations rejoignent celle du TCCC (41). Il faudra réaliser un packing de plaie avec un pansement hémostatique de type Combat Gauze associé à une pression manuelle directe, le plus rapidement relayés et complétés par un dispositif de compression jonctionnelle (CRoC ou SJT).

Dans les deux situations, la décision de retirer le dispositif jonctionnel ne doit se faire qu'en cas d'intervention chirurgicale immédiate possible.

On notera dans la prise en charge, qu'une ceinture pelvienne devra être posée (soit celle du SJT, soit celle en dotation), afin de traiter une éventuelle fracture pelvienne associée. La ceinture contribuera également à assurer l'hémostase.

2.2. Formation

Comme pour les garrots tourniquets, la pose des dispositifs de compression jonctionnelle nécessite un entraînement spécifique afin d'acquérir des compétences, qui devront être révisées à intervalle régulier. Pour les garrots tourniquet, Kotwal et al. ont montré que la mortalité par hémorragie baissait dans une unité qui avait bénéficié d'un entraînement intensif à leur pose (8).

Des ingénieurs américains ont conçu récemment un système d'entraînement sur mannequin pour évaluer la pose d'un dispositif de compression jonctionnelle de type CRoC ou AAJT. Ce système, composé de capteurs de pression et de localisation, permet de vérifier la bonne application du dispositif. Cet outil sera utilisé dans l'armée américaine afin de permettre et de maintenir les compétences liées à l'utilisation de ces dispositifs (70).



Les mannequins de dernière génération Sim Man ® présents dans les CITeRA de l'armée française ne permettent pas à ce jour, de simuler la prise en charge d'une hémorragie jonctionnelle. Des évolutions pourraient être envisagées par le fabricant.

L'entraînement à la pose de ces dispositifs de compression jonctionnelle demeure donc essentiel. Il doit donc être poursuivi et accentué pour tous les SC3 projetés en OPEX.

2.3. Pour quels utilisateurs ?

Dans l'armée américaine, les dispositifs jonctionnels sont utilisés par les *Combat Medics*. En France, l'utilisation de ces dispositifs relève pour le moment d'une compétence de sauvetage au combat de niveau 3 (médecin ou infirmier). Actuellement, le CRoC est disponible dans les unités médicales opérationnelles de Rôle 1 en OPEX (postes médicaux et vecteurs d'évacuation, délai < 1 heure).

La précocité de pose d'un dispositif jonctionnel est un enjeu évident. Toutefois, les données épidémiologiques actuelles ne permettent pas de répondre à la question précise : combien de morts seraient évités par l'emploi précoce (et quel délai ?) d'un dispositif jonctionnel ? Cette donnée serait à intégrer dans la décision de doter ou non les SC2 français d'un dispositif jonctionnel. La mise en œuvre du SJT nous semble plus facile que celle du CRoC et son enseignement probablement accessible aux personnels SC2 qui connaissent déjà la ceinture pelvienne et la prise de pouls fémoral.

Notre travail va permettre d'alimenter la réflexion du comité technique d'enseignement du sauvetage au combat, dont un des rôles est de proposer les évolutions des matériels de santé. Ainsi, le SJT pourrait entrer dans la dotation des unités médicales opérationnelles de Rôle 1, en remplacement du CRoC.

VI. Annexes

ANNEXE 1 : QUESTIONNAIRE MEDICAL PREALABLE

NOM/PRENOM :

1. Avez-vous du cholestérol ? : OUI / NON
2. Avez-vous du diabète ? : OUI / NON
3. Avez-vous de l'hypertension artérielle ? : OUI / NON
4. Avez-vous fumé l'équivalent (ou plus) d'un paquet par jour pendant 20 ans ? : OUI / NON
5. Avez-vous déjà fait une phlébite ou une embolie pulmonaire ? : OUI / NON
6. L'un de vos proches a-t-il déjà fait une phlébite ou une embolie pulmonaire ? : OUI / NON
7. Avez-vous une maladie des artères ou des veines ? : OUI / NON
8. Prenez-vous un traitement actuellement ? OUI / NON

Si OUI lequel ?

9. Vous sentez vous en forme pour réaliser un exercice physique ? : OUI / NON
10. Avez-vous des questions sur cette étude avant d'y participer ? : OUI / NON

Si OUI lesquelles ?

11. Date de la dernière Visite Médicale Périodique (VMP) (à renseigner par le CMA) :

.....

12. Ya-t-il des restrictions écrites en cours sur le certificat de la dernières VMP ? OUI/ NON

(à renseigner par le CMA), Si OUI lesquelles ?

.....

ANNEXE 2 : QUESTIONNAIRE SOCIO-DEMOGRAPHIQUE

1. NOM :
2. PRENOM :
3. COMPAGNIE :
4. SECTION :
5. AGE :
6. SEXE :
7. TAILLE (cm) :
8. POIDS (kg) :
9. ANNEES DE SERVICE :
10. GRADE (entourer) : Militaire du rang Sous-officier Officier
11. NOMBRE D'OPERATIONS EXTERIEURES (SI AUCUNE = 0) :
12. COMBIEN DE GARROTS AVEZ-VOUS POSE EN SITUATION REELLE SUR VOUS
(SI AUCUN = 0) :
13. COMBIEN DE GARROTS AVEZ-VOUS POSE EN SITUATION REELLE SUR
QUELQU'UN D'AUTRE (SI AUCUN = 0) :
14. FORMATION AU SAUVETAGE AU COMBAT (entourer) : Aucune SC1 SC2 SC3

**ANNEXE 3 : DEPISTAGE D'UNE ANOMALIE ILIO-FEMORALE A
L'ECHOGRAPHIE SYSTEMATIQUE AVANT L'INCLUSION**

Présence d'une anomalie ilio-fémorale à l'échographie systématique avant l'inclusion :

OUI / NON

Si OUI laquelle :

**ANNEXE 4 : FORMULAIRE DE CONSENTEMENT DE PARTICIPATION A
L'ETUDE**

Mesure de l'efficacité de deux dispositifs de compression ilio-fémorale - *Combat Ready Clamp* et *SAM Junctionnal Tourniquet* – lorsque les garrots tourniquets sont inefficaces :

Etude comparative par échographie-doppler sur volontaires sains

Je soussigné(e) :

Né(e) le :

Domicilié(e) à :

Déclare :

Que le Docteur m'a proposé de participer à l'étude susnommée,

Qu'il m'a notamment fait connaître :

- L'objectif, la méthode et la durée de l'étude,
- Les contraintes encourues,
- L'avis du comité d'éthique de l'HIA Desgenettes,
- Mon droit de refuser de participer et en cas de désaccord de retirer mon consentement à tout moment,
- Mes droits en regard de la Loi Informatique et Liberté,

Qu'il m'a expliqué en détail le protocole,

Que j'ai répondu en toute bonne foi aux questions concernant mon état de santé.

Après avoir discuté librement et obtenu réponse à toutes mes questions, j'accepte en toute connaissance de cause de participer à cette étude.

Fait à :

Le :

Signature du médecin ayant recueilli(e)
le consentement

Signature du volontaire, précédée de la
mention « lu et approuvé »

ANNEXE 5 : RESULTATS

1 : CONSTANTES HEMODYNAMIQUES : TA...../ FC à/Saturation en 02 à ...

2 : TEMPS DE POSE DU GARROT SOFTT EN SECONDE :

3 : EFFICACITE DU GARROT SOFTT : OUI / NON

4 : CHOIX DU DISPOSITIF DE COMPRESSION JUNCTIONNELLE : CRoC / SJT

5 : TEMPS DE POSE DU DISPOSITIF DE COMPRESSION JUNCTIONNELLE EN SECONDE :

6 : EFFICACITE DU DISPOSITIF DE COMPRESSION JUNCTIONNELLE ASSOCIE AU GARROT SOFTT : OUI / NON

7 : MESURE EFFICACITE POUR LE CRoC : OU POUR LE SJT :

8 : EFFICACITE DU DISPOSITIF DE COMPRESSION JUNCTIONNELLE SEUL APRES LE RETRAIT DU GARROT SOFTT : OUI / NON

9 : MESURE EFFICACITE POUR LE CRoC : OU POUR LE SJT :

10 : SI PAS EFFICACE, CHANGEMENT PAR CRoC / SJT

EFFICACITE ? OUI/NON

MESURE EFFICACITE POUR LE CRoC : OU POUR LE SJT :

ANNEXE 6 : FICHE D'ÉVALUATION DU RESENTI

Consignes : Entourez une case pour chacune des questions

Question 1 : l'utilisation du garrot tourniquet lors de sa pose a été pour vous :

Très facile	Facile	Intermédiaire	Difficile	Très difficile
-------------	--------	---------------	-----------	----------------

Question 2 : le temps de pose du garrot tourniquet vous a semblé :

Très court	Court	Durée moyenne	Long	Très long
------------	-------	---------------	------	-----------

Question 3 : en termes de douleur, le garrot tourniquet a été :

Pas du tout douloureux	Légèrement douloureux	Moyennement douloureux	Très douloureux	Douleur insupportable
------------------------	-----------------------	------------------------	-----------------	-----------------------

Question 4 : Vous avez arrêté de serrer le garrot tourniquet pour la raison suivante :

Douleur	Limite technique	Efficacité supposée
---------	------------------	---------------------

Question 5 : En termes de douleur, le dispositif de compression jonctionnelle de type CRoC/SJT a été :

Pas du tout douloureux	Légèrement douloureux	Moyennement douloureux	Très douloureux	Douleur insupportable
------------------------	-----------------------	------------------------	-----------------	-----------------------

Question 6 : Pensez-vous que votre formation a été suffisante pour l'utilisation du garrot tourniquet ?

OUI	NON	Ne sait pas
-----	-----	-------------

Question 7 : Pensez-vous que ce type d'exercice a été formateur ?

OUI	NON	Ne sait pas
-----	-----	-------------

Remarques :

**ANNEXE 7 : QUESTIONNAIRE POUR L'EQUIPE QUI A POSE LE DISPOSITIF DE
COMPRESSION JONCTIONNELLE**

Nom du Chef d'Equipe (Médecin ou Infirmier) :

Vous avez mis en place le **CRoC / SJT**

Question 1 : Le repérage du site à comprimer vous a semblé :

Très facile	Facile	Intermédiaire	Difficile	Très difficile
-------------	--------	---------------	-----------	----------------

Question 2 : La mise en place du dispositif de compression jonctionnelle vous a semblé :

Très facile	Facile	Intermédiaire	Difficile	Très difficile
-------------	--------	---------------	-----------	----------------

Question 3 : Le temps de pose du dispositif de compression jonctionnelle vous a semblé :

Très court	Court	Durée moyenne	Long	Très long
------------	-------	---------------	------	-----------

Question 4 : La mobilisation du sujet pour la mise en place du dispositif de compression jonctionnelle vous a demandé :

Aucun effort	Peu d'effort	Un effort moyen	Un effort important	Un effort considérable
--------------	--------------	-----------------	---------------------	------------------------

Question 5 : Une fois mis en place, le dispositif de compression jonctionnelle vous a semblé :

Extrêmement Stable	Stable	Moyennement Stable	Peu Stable	Instable
--------------------	--------	--------------------	------------	----------

Remarques :

.....

.....

.....

.....

.....

ANNEXE 8 : PROCES VERBAL DU COMITE D'ETHIQUE ET DES EXPERIMENTATIONS CLINIQUES



HOPITAL D'INSTRUCTION DES ARMEES
DESGETTES
CHEFFERIE

Lyon, le 3 septembre 2014
N° _749_/HIAD/MC

PROCES-VERBAL de la réunion du comité d'éthique et des expérimentations cliniques le 3 septembre 2014

Le comité des expérimentations cliniques de l'IIA Desgenettes s'est réuni le 3 septembre 2014 à 17H00, sous la présidence du médecin chef des services VINCENT, médecin chef adjoint.

Il comprenait :

MC DOT chef de service d'ophtalmologie
MC LEDOUX chef de service de psychiatrie
MC COSTE Olivier, adjoint au chef du service d'ORL,
MC WEY, adjoint au chef de service d'anesthésie réanimation,

Une étude clinique était présentée par le médecin en chef MARTINEZ Jean Louis :

« Mesures doppler de l'efficacité de deux dispositifs de compression ilo-fémorale pour la prise en charge des hémorragies des membres inférieurs ».

Le comité d'éthique et des expérimentations cliniques donne un avis favorable à ces études.

Destinataires :

- Membres du comité
- MC MARTINEZ

Médecin en chef des services VINCENT
Spécialiste de Médecine des Armées
Médecin Chef adjoint de l'Hôpital
d'Instruction des Armées
DESGETTES - LYON

VII. Bibliographie

1. Bellamy RF. Combat Trauma Overview. Bellamy RF Ed Textb Mil Med Wash DC Borden Inst 1995.
2. Eastridge BJ, Mabry RL, Seguin P, Cantrell J, Tops T, Uribe P, et al. Death on the battlefield (2001–2011): implications for the future of combat casualty care. *J Trauma Acute Care Surg.* déc 2012;73:S431-7.
3. Eastridge BJ, Hardin M, Cantrell J, Oetjen-Gerdes L, Zubko T, Mallak C, et al. Died of Wounds on the Battlefield: Causation and Implications for Improving Combat Casualty Care: *J Trauma Inj Infect Crit Care.* juill 2011;71(supplement):S4-8.
4. Mabry RL, Holcomb JB, Baker AM, Cloonan CC, Uhorchak JM, Perkins DE, Canfield AJ, Hagmann JH. United States Army Rangers in Somalia: an analysis of combat casualties on an urban battlefield. *J Trauma* 2000 Sep;49(3):515-28; discussion 528-9.
5. Kragh JF, Walters TJ, Baer DG, Fox CJ, Wade CE, Salinas J, et al. Survival With Emergency Tourniquet Use to Stop Bleeding in Major Limb Trauma: *Ann Surg.* janv 2009;249(1):1-7.
6. Kragh JF Jr, Walters TJ, Baer DG, Fox CJ, Wade CE, Salinas J, Holcomb JB. Practical use of emergency tourniquets to stop bleeding in major limb trauma. *J Trauma* 2008 Feb;64(2) Suppl S38-49 Discuss S49-50 Doi 10.1097/TA.0b013e31816086b1.
7. Andersen RC, Shawen SB, Kragh JF Jr, et al. Special topics. *J Am Acad Orthop Surg* 2012;20:S94–S98.
8. Kotwal RS, Montgomery HR, Kotwal BM, et al. Eliminating preventable death on the battlefield. *Arch Surg* 2011;146:1350–1358.
9. Kelly JF, Ritenour AE, McLaughlin DF, et al. Injury severity and causes of death from Operation Iraqi Freedom and Operation Enduring Freedom: 2003-2004 versus 2006. *J Trauma.* 2008;64(suppl 2):S21-S27.
10. Singleton JA, Gibb IE, Hunt NC, Bull AM, Clasper JC. Identifying future ‘unexpected’ survivors: a retrospective cohort study of fatal injury patterns in victims of improvised explosive devices. *BMJ Open* 2013;3:e003130 Doi 10.1136/bmjopen-2013-003130.
11. Kragh JF Jr, Dubick MA, Aden JK 3rd, McKeague AL, Rasmussen TE, Baer DG, Blackbourne LH. U.S. Military Experience With Junctional Wounds in War From 2001 to 2010. *J Spec Oper Med* 2013 Winter;13:476-84.
12. Bowden M. *Black Hawk Down – A Story Of Modern War.* New York, NY : Penguin Group; 2000. 396 p.

13. Scott R. Black Hawk Down. 2001.
14. Kragh JF Jr, Murphy C, Dubick MA, Baer DG, Johnson J, Blackbourne LH. New tourniquet device concepts for battlefield hemorrhage control. *US Army Med Dep J* 2011 Apr-Jun;38-48.
15. Blackbourne LH, Baer DG, Eastridge BJ, Kheirabadi B, Kragh JF, Cap AP, et al. Military medical revolution: Prehospital combat casualty care. *J Trauma Acute Care Surg*. déc 2012;73:S372-7.
16. Donat N, Pasquier P, Clapson P, Perez JP, Debien B. Épidémiologie des blessures de guerre. *SFMU-Urgence* 2009.
17. Holcomb JB, Stansbury LG, Champion HR, Wade C, Bellamy RF. Understanding combat casualty care statistics. *J Trauma* 2006 Feb 60 2 397-401.
18. Peake JB. Beyond the purple heart-continuity of care for the wounded in Iraq. *N Engl J Med* 2005 Jan 20 352 3 219-22.
19. Belmont, Philip J. Jr. MD; McCriskin, Brendan J. MD; Sieg, Ryan N. MD; Burks, Robert PhD; Schoenfeld, Andrew J. MD. Combat wounds in Iraq and Afghanistan from 2005 to 2009. *J Trauma Acute Care Surg* 2012;73 3-12.
20. Précloux P, Wey PF, Berend M, Lamblin A, Petitjeans F, Martinez JY. Operation PAMIR : report and analysis of Role 1 activities based on the 2011 Forward Trauma Registry (« Registre Santé de l'Avant », RSA) in Afghanistan. *Médecine Armées* 2014 42 4 299-308.
21. Pasquier P, de Rudnicki S, Donat N, Auroy Y, Merat S. Type et épidémiologie des blessures de guerre, à propos de deux conflits actuels : Irak et Afghanistan. *Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation* 30 (2011) 819-827.
22. Champion HR, Holcomb JB, Lawnick MM, Kelliher T, Spott MA, Galarneau MR., et al. Improved characterization of combat injury. *J Trauma* 2010;68:1139-50.
23. Owens BD, Kragh Jr J.F, Wenke JC, Macaitis J, Wade CE, Holcomb JB. Combat wounds in Operation Iraqi Freedom and Operation Enduring Freedom. *J Trauma* 2008;64:295-9.
24. Eastridge, Brian J.; Mabry, Robert; Blackbourne, Lorne H.; Butler, Frank K. We don't know what we don't know: prehospital data in combat casualty care. *US Army Med Dep J* AprJun 2011 P 11-14 OCoLC 32785416 ISSN 1524-0436.
25. Brethauer SA, Chao A, Chambers LW, Green DJ, Brown C, Rhee P et al. Invasion vs insurgency : US Navy/Marine Corps forward surgical care during Operation Iraqi Freedom. *Arch Surg* 2008 Jun 143 6 564-9.
26. Trunkey, D. Trimodal distribution of death. *Sci Am* 1983;249:220-27.
27. Bellamy RF. The causes of death in conventional land warfare: implications for combat casualty care research. *Mil Med* 1984;149:55-62.

28. Pepe PE, Wyatt CH, Bickell WH, Bailey ML, Mattox KL. The relationship between total prehospital time and outcome in hypotensive victims of penetrating injuries. *Ann Emerg Med* 1987 Mar;16:293-7.
29. Kragh JF, Littrel ML, Jones JA, Walters TJ, Baer DG, Wade CE, et al. Battle Casualty Survival with Emergency Tourniquet Use to Stop Limb Bleeding. *J Emerg Med*. déc 2011;41(6):590-7.
30. Tai NR, Dickson EJ. Military junctional trauma. *JR Army Med Corps* 155 4 285-292.
31. Wangensteen SL, Ludewig RM, Cox JM, Lynk JN. The effect of external counterpressure on arterial bleeding. *Surg* 1968;64:922-927.
32. Russell L. Gruen, MD, PhD, Gregory J. Jurkovich, MD, Lisa K. McIntyre, MD, Hugh M. Foy, MD, and Ronald V. Maier, MD. Patterns of Errors Contributing to Trauma Mortality. *Ann Surg* 2006;244:371-380.
33. Naimer SA, Anat N, Katif G; Rescue Team. Evaluation of techniques for treating the bleeding wound. *Inj* 2004 Oct;35:10974-9.
34. Satterly S, Nelson D, Zwintscher N, Oguntoye M, Causey W, Theis B, Huang R, Haque M, Martin M, Bickett G, Rush RM Jr. Hemostasis in a noncompressible hemorrhage model: an end-user evaluation of hemostatic agents in a proximal arterial injury. *J Surg Educ* 2013 Mar-Apr;70:2206-11 Doi 10.1016/j.jurg.2012.11.001.
35. Kheirabadi B. Evaluation of topical hemostatic agents for combat wound treatment. *US Army Med Dep J* 2011 Apr-Jun;25-37.
36. Ecole du Val de Grâce, Ministère de la défense. Enseignement du Sauvetage au Combat, actualisé en janvier 2012 [Internet]. Disponible sur: <http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&ved=0CEQQFjAF&url=http%3A%2F%2Fwww.ecole-valdegrace.sante.defense.gouv.fr%2Fcontent%2Fdownload%2F3960%2F56683%2Ffile%2FSauvetage%2520au%2520Combat%2520-janvier%25202012.pdf&ei=uEX7UrDIE5T20gWHI4GgDw&usg=AFQjCNFXEhligCrPzJ-N6j37z45-7oGoQ>
37. Roberts I, Blackhall K, Dickinson KJ. Medical antishock trousers (pneumatic anti-shock garments) for circulatory support in patients with trauma. *Cochrane Database Syst Rev* 2000;2CD001856.
38. Blackbourne LH, Mabry R, Sebesta J, Holcomb JB. Joseph Lister, noncompressible arterial hemorrhage, and the next generation of « tourniquets »? *US Army Med Dep J* 2008 Jan-Mar;56-9.
39. Kheirabadi BS, Terrazas IB, Hanson MA, Kragh JF, Dubick MA, Blackbourne LH. In vivo assessment of the Combat Ready Clamp to control junctional hemorrhage in swine. *J Trauma Acute Care Surg*. 74(5):1260-5.

40. Food and Drug Administration, Department of Health and Human Services. U.S. FDA 510(k) Number: K130482; device name: Combat Ready Clamp (CRoC). Letter to Combat Medical Systems dated 29 April 2013.
41. Kotwal RS, Butler FK, Gross KR, Kheirabadi BS, Baer DG, Dubick MA, Rasmussen TE, Weber MA, Bailey JA. Management of Junctional Hemorrhage in Tactical Combat Casualty Care: TCCC Guidelines—Proposed Change 13-03. *J Spec Oper Med* 2013 Winter;13(4):85-93.
42. Kragh JF Jr, Murphy C, Steinbaugh J, et al. Prehospital emergency inguinal clamp controls hemorrhage in cadaver model. *Mil Med.* 2013;78:799–805. *Mil Med* 2013;78:799–805.
43. Mann-Salinas EA, John Jr F, Dubick MA, Baer DG, Blackbourne LH. Assessment of users to control simulated junctional hemorrhage with the combat ready clamp (CRoC™). *Int J Burns Trauma.* 2013;3(1):49.
44. Cotte J, Cungi PJ, Montcriol A. Experimental evaluation of the Combat Ready Clamp. *J Trauma Acute Care Surg* 2013 Oct;75(4):747-8 doi: 101097/TA0b013e31829cbf48.
45. Tovmassian RV, Kragh JF Jr, Dubick MA, Baer DG, Blackbourne LH. Combat Ready Clamp medic technique. *J Spec Oper Med* 2012 Winter;12(4):72-8.
46. Speer Operational Technologies | Casualty Care. The Abdominal Aortic & Junctional Tourniquet – AAJT™ [Internet]. Disponible sur: <http://www.speeroptech.com/hemorrhage-control/>
47. Taylor DM, Coleman M, Parker PJ. The evaluation of an abdominal aortic tourniquet for the control of pelvic and lower limb haemorrhage. *Mil Med* 2013 Press.
48. Lyon M, Shiver SA, Greenfield EM, Reynolds BZ, Lerner EB, Wedmore IS, et al. Use of a novel abdominal aortic tourniquet to reduce or eliminate flow in the common femoral artery in human subjects: *J Trauma Acute Care Surg.* août 2012;73:S103-5.
49. Anonymous for Operationnel Reason. Abdominal Aortic Tourniquet™ Use in Afghanistan. *J Spec Oper Med* 2013 Summer1321-2.
50. Croushorn J, Thomas G, McCord SR. Abdominal aortic tourniquet controls junctional hemorrhage from a gunshot wound of the axilla. *J Spec Oper Med* 2013 Fall1331-4.
51. Croushorn J. Abdominal aortic and junctional tourniquet controls hemorrhage from a gunshot wound of the left groin. *J Spec Oper Med* 2014 Summer1426-8.
52. JETT Junctional Emergency Treatment Tool [Internet]. Disponible sur: http://www.narescue.com/JETT_Junctional_Emergency_Treatment_Tool-CN73330B0D4AFF.html?BC=E24AA8684DB3
53. Gates KS, Baer L, Holcomb JB. Prehospital emergency care: evaluation of the junctional emergency tourniquet tool with a perfused cadaver model. *J Spec Oper Med* 2014 Spring14140-4.

54. SAM Medical Products. SAM Junctional Tourniquet - SJT [Internet]. Disponible sur: <http://www.sammedical.com/products/the-sam-junctional-tourniquet/>
55. Cross AM, Davis C, Taylor M, de Mello W, Matthews JJ. Lower limb traumatic amputation – the importance of pelvic binding for associated pelvic fractures in blast injury. *Injury Extra* 41 (2010) 131–166.
56. Johnson JE, Sims RK, Hamilton DJ, Kragh JF. Safety and Effectiveness Evidence of SAM® Junctional Tourniquet to Control Inguinal Hemorrhage in a Perfused Cadaver Model. *J Spec Oper Med* 2014 Summer;14(2):21-5.
57. Klotz JK, Leo M, Anderson BL, Nkodo AA, Garcia G, Wichern AM, Chambers MJ, Gonzalez ON, Pahle MU, Wagner JA, Robinson J, Kragh JF Jr. First Case Report of SAM® Junctional Tourniquet Use in Afghanistan to Control Inguinal Hemorrhage on the Battlefield. *J Spec Oper Med* 2014 Summer 14:21-5.
58. Kragh JF Jr, Parsons DL, Kotwal RS, Kheirabadi BS, Aden JK 3rd, Gerhardt RT, Baer DG, Dubick MA. Testing of junctional tourniquets by military medics to control simulated groin hemorrhage. *J Spec Oper Med* 2014 Fall 14:358-63.
59. Kragh JF Jr, Mann-Salinas EA, Kotwal RS, Gross KR, Gerhardt RT, Kheirabadi B, Wallum TE, Dubick MA. Laboratory assessment of out-of-hospital interventions to control junctional bleeding from the groin in a manikin model. *Am J Emerg Med* 2013 Aug;31(8):1276-8 doi: 10.1016/j.ajem.2013.03.021 Epub 2013 Jul 1.
60. Filips D, Logsetty S, Tan J, Atkinson I, Mottet K. The iTClamp controls junctional bleeding in a lethal swine exsanguination model. *Prehosp Emerg Care* 2013 Oct-Dec 17:4526-32 Doi 10.3109/109031272013818177 Epub 2013 Aug 22.
61. Kirkpatrick AW, McKee JL. Tactical Hemorrhage Control Case Studies Using a Point-of-Care Mechanical Direct Pressure Device. *J Spec Oper Med* 2014 Winter 14:47-10.
62. Cardio Command - Hemorrhage Control - TourniCath [Internet]. Disponible sur: <http://www.cardiocommand.com/hemorrhage.html>
63. Revmedx| Medical products| Wilsonville | XStat [Internet]. Disponible sur: <http://www.revmedx.com/#!xstat-dressing/c2500>
64. Mandel Y, Manivanh R, Dalal R, Huie P, Wang J, Brinton M, Palanker D. Vasoconstriction by Electrical Stimulation: New Approach to Control of Non-Compressible Hemorrhage. *Sci Rep* 2013 3:2111 Doi 10.1038/srep02111.
65. Leroulley D. Etude sur l'efficacité du garrot de combat en exercice au 13ème Bataillon de chasseurs alpins: à propos d'une étude expérimentale, monocentrique, randomisée, contrôlée en simple aveugle sur volontaires sains, du 7 mars au 5 avril 2011 à l'Antenne médicale d'armée du 13ème Bataillon de chasseurs alpins de Barby. 2012.
66. Walters TJ, Wenke JC, Kauvar DS, McManus JG, Holcomb JB, Baer DG. Effectiveness of self-applied tourniquets in human volunteers. *Prehosp Emerg Care* 2005 Oct-Dec 9:4416-22.

67. Ottawa (ON): Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health; 2014 Apr 10. Cover of Junctional Tourniquets for Controlling Hemorrhage from Wounds in Adults: A Review of Clinical Effectiveness, Cost-Effectiveness, Safety, and Guidelines Junctional Tourniquets for Controlling Hemorrhage from Wounds in Adults: A Review of Clinical Effectiveness, Cost-Effectiveness, Safety, and Guidelines.
68. Kheirabadi BS, Terrazas IB, Miranda N, Estep JS, Corona BT, Kragh JF Jr, Dubick MA. Long-term effects of Combat Ready Clamp application to control junctional hemorrhage in swine. *J Trauma Acute Care Surg* 2014 Sep;77(3 Suppl):2S101-8. Doi: 10.1097/TA.0000000000000350.
69. Davidson BP, Belcik JT, Mott BH, Landry G, Lindner JR. Quantification of residual limb skeletal muscle perfusion with contrast-enhanced ultrasound during application of a focal junctional tourniquet. *J Vasc Surg* 2014 Jul 24. pii: S0741-5214(14)01275-0. Doi: 10.1016/j.jvs.2014.06.107. Epub Ahead Print.
70. Weyhrauch PW, Niehaus J, Metzger M, Laufer S, Kwan C, Pugh C. Tourniquet Master Training for Junctional and Inguinal Hemorrhage Control (TMT). *Stud Health Technol Inf* 2014;196:457-61.

VIII. Conclusions

L'hémorragie demeure la première cause de décès évitables en médecine de guerre. L'utilisation large des garrots tourniquets a permis de réduire considérablement le nombre de décès évitables liés aux hémorragies des membres en médecine de guerre. Les hémorragies des zones frontières entre le tronc et les membres ou le cou, sont non garrotables et difficilement compressibles. Ces hémorragies dites « jonctionnelles » sont actuellement responsables de 20% des décès évitables de cause hémorragique sur le terrain. La majorité concerne la région de l'aîne. Pour y faire face, quatre dispositifs mécaniques permettant une compression proximale des axes artériels ont été récemment développés pour la prise en charge des hémorragies jonctionnelles. Peu d'études cliniques sont disponibles. L'objectif de notre étude était de comparer l'efficacité de deux dispositifs - le *Combat Ready Clamp*® (CRoC), et le *SAM Junctional Tourniquet*® (SJT) - appliqués au creux inguinal lorsque les garrots tourniquets sont insuffisants en auto-application pour interrompre le flux artériel.

Nous avons réalisé une étude clinique prospective portant sur 84 volontaires sains. Après recueil du consentement éclairé et en l'absence de critères d'exclusion, chaque volontaire était réparti aléatoirement en deux groupes selon le dispositif utilisé en complément d'un garrot tourniquet placé à la racine de la cuisse. Tous les sujets participaient à l'étude en tenue de combat après réalisation d'un exercice physique. Le critère de jugement principal était l'abolition complète du flux artériel poplité mesuré en échographie-doppler.

Les résultats de notre étude montrent une très bonne efficacité des dispositifs de compression inguinale CRoC et SJT, voisine de 90%. Il n'y a pas de différence significative d'efficacité entre le CRoC et le SJT, qu'ils soient utilisés associés au garrot ou seuls (après relâchement du garrot). En termes de douleur, les deux dispositifs de compression inguinale ont une tolérance significativement bien meilleure que celle du garrot tourniquet. Même si aucune corrélation ne peut être affirmée statistiquement, les dispositifs jonctionnels semblent plus difficiles à appliquer sur des sujets avec un IMC élevé et/ou un profil de pression artérielle plus élevé. Ces résultats concordent avec la seule étude comparative retrouvée dans la littérature.

A efficacité semblable, le SJT présente des atouts par rapport au CRoC. Son temps de pose est significativement plus court, il rend possible une compression inguinale bilatérale, il est le seul dispositif de compression ayant également l'indication pour la stabilisation pelvienne. Enfin, le SJT est moins cher et moins lourd.

Les résultats de notre étude apportent des arguments objectifs pour les travaux du comité technique d'enseignement du sauvetage au combat, dont l'un des rôles est de proposer les évolutions de la dotation des matériels de santé. Ainsi, le SJT pourrait entrer dans la dotation des unités médicales opérationnelles de Rôle 1, en remplacement du CRoC. Son emploi serait du niveau 3 de compétence du sauvetage au combat (médecins et infirmiers). Il pourrait aisément être positionné dans les postes médicaux et les vecteurs d'évacuation tactiques. L'enseignement du SJT dès le niveau 2 du sauvetage au combat (SC2) semble plus accessible que celui du CRoC dans la mesure où les auxiliaires sanitaires connaissent la ceinture pelvienne et la prise de pouls fémoral. Toutefois, nous manquons de données précises pour déterminer si le rapport bénéfice/contraintes est en faveur d'un positionnement du SJT au niveau SC2.

Le Président de la thèse,
Nom et Prénom du Président

Signature **Pr Pierre-Yves GUEUGNAUD**

Chef de Pôle

Directeur du SAMU - Centre 15

Pôle Urgences - Réanimation médicale

Anesthésie-Réanimation - SAMU*

Vu et permis d'impression par le Pr. **EDOUARD HENRIOT** - LYON
GROUPEMENT HOSPITALIER

Lyon, le

13 AVR. 2015

VU :
Le Doyen de la Faculté de Médecine
Lyon-Est



Professeur Jérôme ETIENNEYON

VU :
Pour Le Président de l'Université
Le Président du Comité de Coordination
des Etudes Médicales



Professeur François-Noël GILLY

MEUSNIER Jean-Guillaume : Comparaison de deux dispositifs de compression ilio-fémorale utilisés en médecine de guerre : *Combat Ready Clamp* ® vs *SAM Junctional Tourniquet* ®. A propos d'une étude clinique prospective portant sur 84 volontaires sains.

149 p. 62 ill. 15 tab.
Th. Méd : Lyon 2015, N°

RESUME:

Les hémorragies des zones frontières entre le tronc et les membres sont non garrotables et difficilement compressibles. Ces hémorragies dites « jonctionnelles » sont actuellement responsables de 20% des décès évitables de cause hémorragique sur le terrain, dont la majorité concerne la région de l'aîne. Pour y faire face, quatre dispositifs mécaniques permettant une compression proximale des axes artériels ont été récemment développés. L'objectif de notre étude était de comparer l'efficacité de deux dispositifs : le *Combat Ready Clamp* ® (CRoC) et le *SAM Junctional Tourniquet* ® (SJT), appliqués au creux inguinal lorsque les garrots tourniquets sont insuffisants en auto-application pour interrompre le flux artériel.

Nous avons réalisé une étude clinique prospective portant sur 84 volontaires sains. Après recueil du consentement éclairé et en l'absence de critères d'exclusion, chaque volontaire était réparti aléatoirement en deux groupes selon le dispositif utilisé en complément d'un garrot tourniquet placé à la racine de la cuisse. Tous les sujets participaient à l'étude en tenue de combat après réalisation d'un exercice physique, afin de se rapprocher d'une situation opérationnelle. Le critère de jugement principal était l'abolition complète du flux artériel poplité mesuré en échographie-doppler. Les critères de jugement secondaires étaient l'efficacité des dispositifs utilisés seul, le temps de pose et un questionnaire visant à évaluer la mise en place des deux dispositifs.

Les résultats de notre étude montrent une très bonne efficacité des dispositifs de compression inguinale CRoC et SJT, voisine de 90%. Il n'y a pas de différence significative d'efficacité entre le CRoC et le SJT, qu'ils soient utilisés associés au garrot ($p=0,36$) ou seuls ($p=0,71$). Le temps de pose du SJT est significativement plus court ($p<0,0001$). En termes de douleur, les deux dispositifs jonctionnels ont une tolérance comparable, significativement bien meilleure que celle du garrot tourniquet. Les utilisateurs ont jugé le SJT plus stable, plus simple et plus rapide à appliquer. Aucun effet indésirable n'a été relevé pendant l'étude, ni à l'issue.

MOT CLES: Hémorragie jonctionnelle, Combat Ready Clamp, SAM Junctional Tourniquet, Sauvetage au Combat, Médecine de guerre, Médecine de catastrophe

JURY: Président : Monsieur le Professeur P-Y. GUEUGNIAUD
Directeur de Thèse : Monsieur le Professeur J-Y. MARTINEZ
Membres : Monsieur le Professeur K. TAZAROURTE
Monsieur le Professeur P-F. WEY
Monsieur le Docteur M. PUIDUPIN

DATE DE SOUTENANCE:
5 mai 2015

ADRESSE DE L'AUTEUR:
20 rue de la Bannière, 69003 LYON ; jg.meusnier@hotmail.fr