



HAL
open science

Ligamentoplasties dans l'instabilité scapho-lunaire : résultats à court terme de la technique "All dorsal scapholunate repair"

Laura Helfter

► To cite this version:

Laura Helfter. Ligamentoplasties dans l'instabilité scapho-lunaire : résultats à court terme de la technique "All dorsal scapholunate repair". Médecine humaine et pathologie. 2021. dumas-03364501

HAL Id: dumas-03364501

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03364501>

Submitted on 4 Oct 2021

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

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

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance.

La propriété intellectuelle du document reste entièrement celle du ou des auteurs. Les utilisateurs doivent respecter le droit d'auteur selon la législation en vigueur, et sont soumis aux règles habituelles du bon usage, comme pour les publications sur papier : respect des travaux originaux, citation, interdiction du pillage intellectuel, etc.

Il est mis à disposition de toute personne intéressée par l'intermédiaire de [l'archive ouverte DUMAS](#) (Dépôt Universitaire de Mémoires Après Soutenance).

Si vous désirez contacter son ou ses auteurs, nous vous invitons à consulter la page de DUMAS présentant le document. Si l'auteur l'a autorisé, son adresse mail apparaîtra lorsque vous cliquerez sur le bouton « Détails » (à droite du nom).

Dans le cas contraire, vous pouvez consulter en ligne les annuaires de l'ordre des médecins, des pharmaciens et des sages-femmes.

Contact à la Bibliothèque universitaire de Médecine Pharmacie de Grenoble :

bump-theses@univ-grenoble-alpes.fr

Année : 2021

LIGAMENTOPLASTIES DANS L'INSTABILITÉ
SCAPHO-LUNAIRE : RÉSULTATS À COURT TERME DE
LA TECHNIQUE "ALL DORSAL SCAPHOLUNATE REPAIR"

THÈSE
POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

SPÉCIALITÉ :
CHIRURGIE ORTHOPÉDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE

Par Mme Laura HELFTER

[Données à caractère personnel]

THÈSE SOUTENUE PUBLIQUEMENT À LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE GRENOBLE

Le : 27/09/2021

DEVANT LE JURY COMPOSÉ DE

Président du jury :

M. le Professeur TONETTI Jérôme

Membres :

M. le Professeur TONETTI Jérôme

M. le Professeur COURVOISIER Aurélien

M. le Docteur CORCELLA Denis

Mme le Docteur FORLI Alexandra (directrice de thèse)

L'UFR de Médecine de Grenoble n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses ; ces opinions sont considérées comme propres à leurs auteurs

Année : 2021

LIGAMENTOPLASTIES DANS L'INSTABILITÉ
SCAPHO-LUNAIRE : RÉSULTATS À COURT TERME DE
LA TECHNIQUE "ALL DORSAL SCAPHOLUNATE REPAIR"

THÈSE
POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

SPÉCIALITÉ :
CHIRURGIE ORTHOPÉDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE

Par Mme Laura HELFTER

[Données à caractère personnel]

THÈSE SOUTENUE PUBLIQUEMENT À LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE GRENOBLE

Le : 27/09/2021

DEVANT LE JURY COMPOSÉ DE

Président du jury :

M. le Professeur TONETTI Jérôme

Membres :

M. le Professeur TONETTI Jérôme

M. le Professeur COURVOISIER Aurélien

M. le Docteur CORCELLA Denis

Mme le Docteur FORLI Alexandra (directrice de thèse)

L'UFR de Médecine de Grenoble n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses ; ces opinions sont considérées comme propres à leurs auteurs

Doyen de la Faculté : Pr. Patrice MORAND

Année 2020-2021

ENSEIGNANTS DE L'UFR DE MEDECINE

CORPS	NOM-PRENOM	Discipline universitaire
PU-PH	ALBALADEJO Pierre	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
PU-PH	APTEL Florent	Ophthalmologie
PU-PH	ARVIEUX-BARTHELEMY Catherine	Chirurgie viscérale et digestive
PU-PH	BAILLET Athan	Rhumatologie
PU-PH	BARONE-ROCHETTE Gilles	Cardiologie
PU-PH	BAYAT Sam	Physiologie
MCF Ass.MG	BENDAMENE Farouk	Médecine Générale
PU-PH	BENHAMOU Pierre-Yves	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
PU-PH	BERGER François	Biologie cellulaire
MCU-PH	BIDART-COUTTON Marie	Biologie cellulaire
PU-PH	BLAISE Sophie	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire
PR Ass. Méd.	BOILLOT Bernard	
MCU-PH	BOISSET Sandrine	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PH	BONAZ Bruno	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
PU-PH	BONNETERRE Vincent	Médecine et santé au travail
PU-PH	BOREL Anne-Laure	Nutrition
PU-PH	BOSSON Jean-Luc	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MCU-PH	BOTTARI Serge	Biologie cellulaire
PR Ass.MG	BOUCHAUD Jacques	Médecine Générale
PU-PH	BOUGEROL Thierry	Psychiatrie d'adultes
PU-PH	BOUILLET Laurence	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
MCU-PH	BOUSSAT Bastien	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
PU-PH	BOUZAT Pierre	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
PU-PH émérite	BRAMBILLA Christian	Pneumologie
PU-PH émérite	BRAMBILLA Elisabeth	Anatomie et cytologie pathologiques
MCU-PH	BRENIER-PINCHART Marie Pierre	Parasitologie et mycologie
PU-PH	BRICAULT Ivan	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	BRICHON Pierre-Yves	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
MCU-PH	BRIOT Raphaël	Thérapeutique-médecine de la douleur ; Addictologie
PU-PH émérite	CAHN Jean-Yves	Hématologie
PU-PH émérite	CARPENTIER Patrick	Chirurgie vasculaire, médecine vasculaire
PR Ass.MG	CARRILLO Yannick	Médecine Générale
PU-PH	CESBRON Jean-Yves	Immunologie
PU-PH	CHABARDES Stephan	Neurochirurgie
PU-PH	CHABRE Olivier	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
PU-PH	CHAFFANJON Philippe	Anatomie
MCF Ass.MG	CHAMBOREDON Benoît	Médecine Générale
PU-PH	CHARLES Julie	Dermato-vénérologie
MCF Ass.MG	CHAUVET Marion	Médecine Générale
PU-PH	CHAVANON Olivier	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire

CORPS	NOM-PRENOM	Discipline universitaire
PU-PH	CHIQUET Christophe	Ophthalmologie
PU-PH	CHIRICA Mircea	Chirurgie viscérale et digestive
PU-PH	CINQUIN Philippe	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MCU-PH	CLAVARINO Giovanna	Immunologie
PU-PH	COHEN Olivier	Histologie, embryologie et cytogénétique
PU-PH	COURVOISIER Aurélien	Chirurgie infantile
PU-PH	COUTTON Charles	Génétique
PU-PH	COUTURIER Pascal	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
PU-PH	CRACOWSKI Jean-Luc	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
PU-PH	DEBATY Guillaume	Médecine d'Urgence
PU-PH	DEBILLON Thierry	Pédiatrie
PU-PH	DECAENS Thomas	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
PR Ass. Méd.	DEFAYE Pascal	Cardiologie
PU-PH	DEGANO Bruno	Pneumologie ; addictologie
PU-PH	DEMATTEIS Maurice	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
PU-PH émérite	DEMONGEOT Jacques	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MCU-PH	DERANSART Colin	Physiologie
PU-PH	DESCOTES Jean-Luc	Urologie
PU-PH	DETANTE Olivier	Neurologie
MCU-PH	DIETERICH Klaus	Génétique
MCU-PH	DOUTRELEAU Stéphane	Physiologie
MCU-PH	DUMESTRE-PERARD Chantal	Immunologie
PU-PH	EPAULARD Olivier	Maladies infectieuses ; Maladies tropicales
PU-PH	ESTEVE François	Biophysique et médecine nucléaire
MCU-PH	EYSSERIC Héliène	Médecine légale et droit de la santé
PU-PH	FAUCHERON Jean-Luc	Chirurgie viscérale et digestive
MCU-PH	FAURE Julien	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	FERRETTI Gilbert	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	FEUERSTEIN Claude	Physiologie
PU-PH	FONTAINE Éric	Nutrition
PU-PH	FRANCOIS Patrice	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
MCU-MG	GABOREAU Yoann	Médecine Générale
PU-PH	GARBAN Frédéric	Hématologie ; Transfusion
PU-PH	GAUDIN Philippe	Rhumatologie
PU-PH	GAVAZZI Gaétan	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
PU-PH	GAY Emmanuel	Neurochirurgie
MCU-PH	GILLOIS Pierre	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
PU-PH	GIOT Jean-Philippe	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; Brûlologie
MCU-PH	GRAND Sylvie	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH émérite	GRIFFET Jacques	Chirurgie infantile
MCU-PH	GUZUN Rita	Nutrition
PU-PH	HAINAUT Pierre	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH émérite	HALIMI Serge	Nutrition
PU-PH	HENNEBICQ Sylviane	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
PU-PH	HOFFMANN Pascale	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
PU-PH émérite	HOMMEL Marc	Neurologie
PU-MG	IMBERT Patrick	Médecine Générale

CORPS	NOM-PRENOM	Discipline universitaire
PU-PH émérite	JOUK Pierre-Simon	Génétique
PU-PH	KAHANE Philippe	Physiologie
MCU-PH	KASTLER Adrian	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	KRAINIK Alexandre	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	LABARERE José	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
MCU-PH	LABLANCHE Sandrine	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
MCU-PH	LANDELLE Caroline	Bactériologie – virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PH	LANTUEJOUL Sylvie	Anatomie et cytologie pathologiques
PR Ass. Méd.	LARAMAS Mathieu	Cancérologie ; radiothérapie
MCU-PH	LARDY Bernard	Biochimie et biologie moléculaire
MCU - PH	LE GOUELLEC LE PISSART Audrey	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	LECCIA Marie-Thérèse	Dermato-vénérologie
MCF Ass.MG	LEDOUX Jean-Nicolas	Médecine Générale
PU-PH émérite	LETOUBLON Christian	Chirurgie viscérale et digestive
PU-PH	LEVY Patrick	Physiologie
PU-PH	LONG Jean-Alexandre	Urologie
MCU-PH	LUPO Julien	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PH	MAIGNAN Maxime	Médecine d'urgence
PU-PH	MAITRE Anne	Médecine et santé au travail
MCU-PH	MALLARET Marie-Reine	Bactériologie – virologie ; Hygiène hospitalière
MCU-PH	MARLU Raphaël	Hématologie ; Transfusion
PR Ass. Méd.	MATHIEU Nicolas	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
MCU-PH	MAUBON Danièle	Parasitologie et mycologie
PU-PH	MAURIN Max	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière
MCU-PH	MC LEER Anne	Histologie, embryologie et cytogénétique
MCU-PH	MONDET Julie	Histologie, embryologie et cytogénétique
PU-PH	MORAND Patrice	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PH	MOREAU-GAUDRY Alexandre	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
PU-PH	MORO Elena	Neurologie
PU-PH	MORO-SIBILOT Denis	Pneumologie ; addictologie
MCU-PH	MORTAMET Guillaume	Pédiatrie
PU-PH	MOUSSEAU Mireille	Cancérologie ; radiothérapie
PU-PH émérite	MOUTET François	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie
MCF Ass.MG	ODDOU Christel	Médecine Générale
PR Ass. Méd.	ORMEZANO Olivier	Cardiologie
MCU-PH	PACLET Marie-Hélène	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	PAILHE Régis	Chirurgie orthopédique et traumatologie
PU-PH	PALOMBI Olivier	Anatomie
PU-PH	PARK Sophie	Hématologie ; Transfusion
PU-PH	PASSAGGIA Jean-Guy	Anatomie
PR Ass.MG	PAUMIER-DESBRIERES Françoise	Médecine Générale
PU-PH	PAYEN DE LA GARANDERIE Jean-François	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
MCU-PH	PAYSANT François	Médecine légale et droit de la santé
MCU-PH	PELLETIER Laurent	Biologie cellulaire
PU-PH	PELLOUX Hervé	Parasitologie et mycologie
PU-PH	PEPIN Jean-Louis	Physiologie
PU-PH	PERENNOU Dominique	Médecine physique et de réadaptation

CORPS	NOM-PRENOM	Discipline universitaire
PU-PH	PERNOD Gilles	Chirurgie vasculaire ; Médecine vasculaire
PU-PH	PIOLAT Christian	Chirurgie infantile
PU-PH	PISON Christophe	Pneumologie ; Addictologie
PU-PH	PLANTAZ Dominique	Pédiatrie
PU-PH	POIGNARD Pascal	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PH	POLACK Benoît	Hématologie ; Transfusion
PU-PH	POLOSAN Mircea	Psychiatrie d'adultes ; Addictologie
PU-PH	RAMBEAUD Jean-Jacques	Urologie
PU-PH	RAY Pierre	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
PR Ass. Méd.	RECHE Fabian	Chirurgie viscérale et digestive
MCU-PH	RENDU John	Biochimie et biologie moléculaire
MCU-PH émérite	RIALLE Vincent	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
PU-PH	RIETHMULLER Didier	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
PU-PH	RIGHINI Christian	Oto-rhino-laryngologie
PU-PH émérite	ROMANET Jean Paul	Ophthalmologie
PU-PH	ROSTAING Lionel	Néphrologie
PU-PH	ROUSTIT Matthieu	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
MCU-PH	ROUX-BUISSON Nathalie	Biochimie et biologie moléculaire
PR Ass.MG	ROYER DE VERICOURT Guillaume	Médecine Générale
PU-PH émérite	SARAGAGLIA Dominique	Chirurgie orthopédique et traumatologie
MCU-PH	SATRE Véronique	Génétique
PU-PH	SAUDOU Frédéric	Biologie cellulaire
PU-PH	SCHMERBER Sébastien	Oto-rhino-laryngologie
PU-PH	SCHWEBEL Carole	Médecine intensive-réanimation
PU-PH	SCOLAN Virginie	Médecine légale et droit de la santé
MCU-PH	SEIGNEURIN Arnaud	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
PU-PH émérite	STAHL Jean-Paul	Maladies infectieuses ; Maladies tropicales
PU-PH	STANKE Françoise	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
MCU-PH	STASIA Marie-José	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	STURM Nathalie	Anatomie et cytologie pathologiques
PU-PH	TAMISIER Renaud	Physiologie
PU-PH	TERZI Nicolas	Médecine intensive-réanimation
PU-PH	THEVENON Julien	Génétique
MCU-PH	TOFFART Anne-Claire	Pneumologie ; Addictologie
PU-PH	TONETTI Jérôme	Chirurgie orthopédique et traumatologie
PU-PH	TOUSSAINT Bertrand	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	VALMARY-DEGANO Séverine	Anatomie et cytologie pathologiques
PU-PH	VANZETTO Gérard	Cardiologie
PU-PH	VUILLEZ Jean-Philippe	Biophysique et médecine nucléaire
PU-PH	WEIL Georges	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
PU-PH	ZAOUI Philippe	Néphrologie
PU-PH émérite	ZARSKI Jean-Pierre	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie

PU-PH : Professeur des Universités - Praticiens Hospitaliers
 MCU-PH : Maître de Conférences des Universités - Praticiens Hospitaliers
 PU-MG : Professeur des Universités de Médecine Générale
 MCU-MG : Maître de Conférences des Universités de Médecine Générale
 PR Ass. Méd. : Professeur des Universités Associé de Médecine
 PR Ass.MG : Professeur des Universités Associé de Médecine Générale
 MCF Ass.MG : Maître de Conférences Associé de Médecine Générale

Le serment d'Hippocrate

Texte revu par l'Ordre des médecins en 2012

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

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

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

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

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

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

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

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

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

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité. Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré(e) et méprisé(e) si j'y manque.

”

REMERCIEMENTS

Aux membres du jury

Monsieur le Professeur Jérôme Tonetti,
Merci de me faire l'honneur de présider cette thèse. Merci pour votre bienveillance tout au long de mon cursus.

Monsieur le Professeur Aurélien Courvoisier,
Merci de me faire l'honneur de participer à ce jury.
Merci pour les 6 mois passés à vos côtés en chirurgie pédiatrique.

Monsieur le Docteur Denis Corcella,
Merci de me faire l'honneur de participer à ce jury et de juger ce travail,
Merci de m'avoir acceptée au sein de votre équipe afin de me former à la chirurgie de la main, je vous remercie de tout ce que j'ai pu apprendre à vos côtés,

Madame le Docteur Alexandra Forli,
Merci de m'avoir fait l'honneur d'être ma directrice de thèse et de m'avoir guidée tout au long de ce travail,
Merci pour ta réactivité et tes conseils,
J'admire ta passion et ton dévouement sans faille pour cette belle spécialité qu'est la chirurgie de la main, et suis fière de pouvoir me former à tes côtés.

A mes Maîtres, et Seniors, qui ont marqué ma formation

À l'équipe d'orthopédie de Nord, les Docteurs Seurat, Kerschbaumer, Boudissa, Marques; merci pour ces premiers pas en orthopédie, une bonne entrée en la matière.

À l'équipe de chirurgie de la main, Margaux, Charlotte, Marion, Isaline, en souvenir des longues attentes au bloc des urgences, merci pour les bons moments passés avec vous.

À l'équipe de la Clinique Générale, Michael, Marie et Thibaut, à votre éternelle motivation pour les chantiers.

À l'équipe de chirurgie pédiatrique, au Docteur Eid merci pour votre rigueur, à Emeline, merci pour ta disponibilité, n'oublie pas de continuer tes chansons, à Nicolas et ta sérénité.

À l'équipe de chirurgie vasculaire d'Annecy, les Docteurs Cochet, Ducos et Pérou.

À l'équipe de chirurgie du membre supérieur de l'hôpital Edouard Herriot à Lyon, merci au Docteur Gazarian de m'avoir permis de profiter de son expertise chirurgicale et clinique, merci à

Thaïs, Agathe, Christophe, Romain, Arnaud, Victor, Maxime, Thomas, Yannick, une bien belle équipe où règne la bonne humeur et l'entraide.

À mes co internes tout au long de l'internat, qui ont su rendre les moments difficiles bien plus agréables

À mes co-internes de premier semestre, Fanny, Valentin, Guillaume, Camille, Thibault, un semestre d'hiver à Nord comme il se doit pour se mettre dans le bain de l'internat. À Guillaume, Maxime, Florent, Marc, Dani, pour l'enchaînement d'un an à Nord.

À mes co-internes de chirurgie de la main, Camille H., Clément, Antonin, Thibaut F.; un bon semestre à vos côtés pour découvrir cette belle spécialité. Puis Thibaut D., Camille R., Lilia, Nathan; 6 mois bien sympathiques avec vous,

À mes co-internes de pédiatrie, Antonin, Antoine, Mathieu, Kim; un semestre marqué par l'arrivée d'un invité surprise.

À mes cointernes de Lyon, Salame, Sabine et Nicolas, parce que les blagues de Nicolas avouons le vous nous manquer.

À toutes les équipes médicales que j'ai croisées au cours de mon parcours

Merci à tous pour ces mois ou années passés à vos côtés.

À ma famille et mes amis, sans qui tout ça n'aurait pas été possible

À mes Parents,
Merci d'avoir toujours été là et de m'avoir soutenue depuis le début (même si je n'ai pas du être facile à vivre tous les jours),

À mes frères Victor et Pierre, promis j'essayerai de ne plus parler de médecine pendant les repas de dimanche, merci pour votre présence.

À Joanna, expat Canadienne,
Même si je sais pertinemment que tu ne liras jamais cette thèse avec tous ces mots pas bien sympathiques,
À nos soirées du samedi soir après la BU en première année,
même à distance, merci pour ton soutien sans faille

À Alexandra et Lucille, les Strasbourgeoises qui ont fini par être conquises par les montagnes, merci d'être là tant d'années après. À Lucie et Floriane.

Aux Alsaciens expatriés en Haute-Savoie, Déborah, Mathieu, Pierre, Yoann, Adrien. Et évidemment un petit mot pour les non Alsaciens (quand même) Louis, Marie, Medhi, Justine.

Aux Babes, Mathilde, Agathe, Justine, Léna, Floriane, Manon, Lola, Carole,
À nos années de fac, même aux quatre coins de la France et au-delà, rien ne change.

À Annaëlle, Olivier, Marianne et Clémentin, à nos escapades à vélo, à ski, aux colocs, j'espère partager encore beaucoup de péripéties avec vous.

Aux "colocs" de l'internat, en premier et deuxième semestre, l'arrivée à Grenoble n'aurait pas eu le même goût sans vous.

À Toto,
Merci d'avoir été là depuis le début et de m'avoir soutenue tout au long de ce périple qu'est l'internat,
Merci pour toutes les aventures qu'on a pu vivre jusqu'à présent, même les plans à la Toto,
Merci d'être toi tout simplement,

RÉSUMÉ

Introduction:

L'instabilité scapho-lunaire est l'instabilité du carpe la plus fréquente. Elle résulte de lésions du ligament scapho-lunaire et des stabilisateurs secondaires à l'origine de modifications de la biomécanique du carpe qui, en l'absence de prise en charge, peuvent mener à une arthrose du poignet de type SLAC. L'objectif de la chirurgie est de corriger les anomalies d'alignement du carpe avant l'apparition de lésions secondaires. Les techniques actuelles ne permettent pas d'obtenir des résultats totalement satisfaisants, d'où l'absence de consensus. L'objectif de l'étude est de rapporter les résultats d'une technique récente de ligamentoplastie scapho-lunaire nommée "all dorsal scapho-lunate repair" utilisant le concept de renfort interne à l'aide d'une bandelette synthétique.

Matériel et méthode:

Cette étude rétrospective est basée sur les résultats de 21 patients âgés en moyenne de 44 ans, présentant une instabilité scapho-lunaire stade 3 ou 4 de la classification de Garcia Elias et ayant bénéficié de la technique "all dorsal scapho-lunate repair". Des critères radiographiques, cliniques et fonctionnels ont été évalués.

Résultats:

Le recul moyen était de 14,2 mois. Quatre vingt quinze pourcent des patients présentaient des douleurs à l'effort (EVA 4/10) au dernier recul et seuls 14% au repos

(EVA 0,1/10). La force de serrage était limitée à 65% par rapport au côté opposé. L'arc de mobilité moyen en flexion-extension était de 105° avec une flexion à 68% du côté opposé, une extension à 80%, une inclinaison ulnaire et radiale à 82% et 77% respectivement. Il existait une réduction statistiquement significative de l'angle et de l'espace scapho-lunaire. Le QuickDASH moyen était de 29,2, le PRWE à 24, et le Mayo Wrist Score à 67,8 avec 5 résultats excellents, 4 bons, 4 moyens et 7 mauvais. On retrouvait un score de satisfaction moyen à 3,1 sur 4 avec 81% de patients satisfaits ou très satisfaits. Soixante-seize pourcent des patients ont repris leur activité professionnelle à 5,2 mois en moyenne et 4 patients ont bénéficié d'une mise en invalidité; 79% ont repris leurs activités sportives dans un délai de 4 mois. En cas d'accident de travail, les scores fonctionnels étaient moins bons, et la reprise du travail retardée. Le nombre de broches n'influçait pas les résultats. Au-delà d'un an de recul, on notait une diminution statistiquement significative de la douleur à l'effort, une amélioration des mobilités et des scores fonctionnels. Il n'existait pas de différence statistiquement significative de l'angle scapho-lunaire et de l'espace scapho-lunaire avec le délai postopératoire. Quarante sept pourcent des patients présentaient une zone d'ostéolyse en regard des ancrs.

Discussion:

La technique "*all dorsal scapho-lunate repair*" permet d'obtenir de bons résultats cliniques et fonctionnels à court terme, excepté pour le Mayo Wrist Score et la force. La majorité des patients sont satisfaits. La bonne réduction des critères radiographiques semble se maintenir dans le temps malgré la persistance d'un diastasis scapho-lunaire.

Au vu des résultats, seule une broche de protection semble suffisante et sa présence peut même être discutée. L'accident de travail est un facteur de moins bon pronostic fonctionnel et socio-économique. L'augmentation du délai postopératoire permet l'amélioration de la douleur, des scores fonctionnels et des mobilités. Il serait intéressant de réaliser une étude comparative à long terme avec une plus grande cohorte. L'évolution des zones d'ostéolyse en regard des ancrés devra être contrôlée.

Niveau de preuve: niveau IV, série rétrospective bicentrique

SUMMARY

Introduction:

Scapholunate instability is the most frequent carpal instability. Lesions of the scapholunate ligament and secondary stabilizers lead to biomechanic modifications of the carpus. Without any care, the instability will lead to wrist arthritis called SLAC wrist. The surgery aims to correct the misalignment of the carpus before the apparition of secondary lesions. Current techniques fail in obtaining satisfactory results. For this reason, there is no consensus about the best method to treat this injury. The study aims to report the results of a recent technique of ligamentoplasty called « all dorsal scapholunate repair » using the concept of internal brace with a synthetic ribbon.

Materials and methods:

This retrospective study gathers the results of 21 patients. With an average age of 44 years old, all patients present a scapholunate instability stage 3 or 4 of the Garcia Elias classification. They all have been treated with the ligamentoplasty « all dorsal scapholunate repair ». Clinical, functional et radiological outcomes have been evaluated.

Results:

The average follow up time was 14,2 months. Ninety-five percent of the patients were experiencing pain during exercise (4/10) and only 14% at rest (0,1/10). The grip strength was limited to 65% compared to the opposite side. Arc of mobility in flexion-extension was 105° with, on average, flexion at 68% of the flexion of the

opposite side, extension at 80%, ulnar and radial deviation at 82 and 77% respectively. There was a statistically significant reduction of the scapholunate angle and the scapholunate gap. The average QuickDASH was 29,2, PRWE 24, Mayo Wrist Score 67,8 with 5 excellent results, 4 good, 4 fair and 7 poor. The satisfaction score was on average at 3,1 on 4 with 81% of the patients considered satisfied or very satisfied. Sixty six percent of patients have returned to work in 5,2 months and 4 patients were considered disabled. Seventy nine percent of the population have returned to sport in 4 months. In the event of work related accident, functional scores were less good associated with a delayed return to work. The number of pins did not affect the results. Over a year of follow up, pain while exercising significantly decreased. Improvement in wrist mobility and functional scores were also observed. There was no statistically significant difference of the scapholunate angle or the scapholunate gap with time. Forty seven percent of patients were presenting an osteolysis zone around the anchor's implantation site.

Discussion:

The ligamentoplasty « all dorsal scapholunate repair » allows obtaining good short-term clinical and functional outcomes, except for the Mayo Wrist Score and the grip strength. Most of the cohort is satisfied. The reduction of the radiological outcomes seems to be stable in time despite the persistence of a scapholunate gap. Based on the results, only one protective pin can be enough, its presence can also be discussed. The work relative accident is a poorer functional and socio-economic pronostic factor. The increase of the follow up time shows improvement in pain,

functional scores and mobility. It should be interesting to realize a long term comparative study with a larger cohort. The evolution of the osteolysis zones needs to be carefully controlled.

Level of evidence: level IV, bicentric retrospective study

Keywords: scapho lunate ligament, scapholunate dissociation, ligament tenodesis, carpal instability

TABLE DES MATIÈRES

I.	INTRODUCTION	27
II.	RAPPELS D'ANATOMIE DESCRIPTIVE	30
II. 1.1.	La rangée proximale des os du carpe	30
II. 1. 2.	La rangée distale des os du carpe	34
II. 2. 1.	Ligaments intrinsèques	36
II. 2. 1. 1.	Ligaments interosseux de la première rangée des os du carpe	36
II. 2. 1. 1. 1.	Ligament scapho-lunaire	36
II. 2. 1. 1. 2.	Ligament luno-triquétral	38
II. 2. 1. 2.	Ligaments intrinsèques médio carpiens	38
II. 2. 1. 2. 1.	Ligament scapho-trapézo-trapézoïdal	38
II. 2. 1. 2. 2.	Ligament scapho-capital	39
II. 2. 1. 3.	Ligament intrinsèque dorsal	39
II. 2. 2.	Ligaments extrinsèques	40
II. 2. 2. 1.	Ligaments extrinsèques palmaires	40
II. 2. 2. 1. 1.	Ligament radio-scapho-capital	41
II. 2. 2. 1. 2.	Ligaments radio lunaires court et long	41
II. 2. 2. 1. 3.	Ligament radio-scapho-lunaire	42
II. 2. 2. 2.	Ligament extrinsèque dorsal	42
II. 2. 3.	Septum dorsal capsulo scapho-lunaire (DCSS)	44
II. 3.	RÔLE DES MUSCLES DANS LA STABILITÉ DU CARPE	44
II. 4.	RÔLE DE LA PROPRIOCEPTION DANS LA STABILITÉ DU CARPE	48
II. 5.	CONCLUSION	49
III.	BIOMÉCANIQUE ET CINÉMATIQUE DU CARPE	51
III. 1.	LES THÉORIES HISTORIQUES DE LA BIOMÉCANIQUE DU CARPE	51
III. 1. 1.	La théorie des rangées	51

III. 1. 2. La théorie des colonnes	52
III. 1. 3. La théorie « oval ring »	54
III. 2. ÉVOLUTION DU CONCEPT DE BIOMÉCANIQUE DU CARPE	55
III. 3. BIOMÉCANIQUE APPLIQUÉE	55
III. 3. 1. Position d'équilibre des os de la première rangée	57
III. 3. 2. Biomécanique du carpe en compression axiale	58
III. 3. 3. Mouvements de flexion et extension dans le plan sagittal	58
III. 3. 4. Mouvements d'inclinaison ulnaire et d'inclinaison radiale dans le plan frontal	60
III. 4. CONCLUSION	61
IV. L'INSTABILITÉ SCAPHO-LUNAIRE	63
IV. 1. L'INSTABILITÉ DU CARPE, GÉNÉRALITÉS	63
IV. 1. 1. L'instabilité dissociative	63
IV. 1. 2. L'instabilité non dissociative	64
IV. 1. 3. L'instabilité complexe	64
IV. 1. 4. L'instabilité adaptative	64
IV. 2. PHYSIOPATHOLOGIE DE L'INSTABILITÉ SCAPHO-LUNAIRE	65
IV. 3. ÉVOLUTION NATURELLE	67
IV. 4. DIAGNOSTIC	70
IV. 4. 1. Diagnostic clinique	70
IV. 4. 1. 1. Signes fonctionnels	70
IV. 4. 1. 2. Examen clinique	71
IV. 4. 2. Examens complémentaires	73
IV. 4. 2. 1. Radiographies simples	73
IV. 4. 2. 2. Radiographies dynamiques	80
IV. 4. 2. 3. Arthroscanner	81
IV. 4. 2. 4. Imagerie par résonance magnétique (IRM)	83

IV. 4. 2. 5. Arthroscopie	84
IV. 5. CLASSIFICATION DES INSTABILITÉS SCAPHO-LUNAIRES	88
IV. 5. STRATÉGIE THÉRAPEUTIQUE SELON LE STADE D'INSTABILITÉ SCAPHO-LUNAIRE	90
IV. 6. PRINCIPALES TECHNIQUES DE LIGAMENTOPLASTIES	92
IV. 6. 1. Ligamentoplastie selon la technique de Brunelli	92
IV. 6. 2. Ligamentoplastie selon la technique de Brunelli modifiée par Van Den Abbeele	93
IV. 6. 3. La triple ligamentoplastie	94
IV. 6. 4. Ligamentoplastie selon la technique SLIC version 2	95
V. ÉTUDE CLINIQUE DES RÉSULTATS À COURT TERME DE LA TECHNIQUE DE LIGAMENTOPLASTIE “ALL DORSAL SCAPHOLUNATE REPAIR”	97
V. 1. PATIENTS ET MÉTHODES	97
V. 1. 1. Design de l'étude	97
V. 1. 2. Population	97
V. 1. 3. Évaluation préopératoire	98
V. 1. 4. Technique chirurgicale	99
V. 1. 5. Protocole postopératoire	105
V. 1. 6. Critères d'évaluation	105
V. 1. 7. Analyse statistique	107
V. 2. RÉSULTATS	108
V. 2. 1. Données épidémiologiques	108
V. 2. 2. Données cliniques (tableau 4)	111
V. 2. 3. Critères radiographiques (tableau 5)	112
V. 2. 4. Scores fonctionnels et degré de satisfaction (tableau 6)	113
V. 2. 5. Critères socio économiques (tableau 7)	114
V. 2. 6. Complications	115

V. 2. 7. Analyses en sous groupe	117
V. 2. 7. 1. Selon le contexte d'accident de travail	118
V. 2. 7. 2. Selon la technique opératoire	119
V. 2. 7. 3. Selon le stade défini selon Garcia Elias	120
V. 2. 7. 4. Selon l'ancienneté des lésions	122
V. 2. 7. 5. Selon le délai post-opératoire	123
VI. DISCUSSION	127
VI. 1. TECHNIQUE OPÉRATOIRE	127
VI. 2. RÉSULTATS DE L'ÉTUDE	132
VI. 3. REVUE DE LA LITTÉRATURE	136
VI. 4. LIMITES DE L'ÉTUDE	142
VII. CONCLUSION	143
VIII. BIBLIOGRAPHIE	145
IX. ANNEXES	159

I. INTRODUCTION

Les lésions du ligament scapho-lunaire sont les lésions ligamentaires du carpe les plus fréquentes [1,2]. La rupture de ce ligament peut entraîner une modification des rapports entre les os du carpe, notamment entre le scaphoïde et le lunatum, appelée instabilité scapho-lunaire (SL) qui est l'instabilité du carpe la plus fréquente [1–3]. L'instabilité scapho-lunaire concerne, dans la majorité des cas, des sujets jeunes et actifs, et représente environ 5% des douleurs chroniques du poignet [4–6].

En absence de prise en charge adaptée, les modifications biomécaniques induites par l'instabilité scapho-lunaire peuvent entraîner des lésions arthrosiques du poignet décrites par Watson (*scapholunate advanced collapse*, SLAC) [7]. Cette évolution arthrogène est la principale problématique de ces instabilités, les SLAC lésions étant les lésions arthrosiques les plus fréquentes du poignet [1]. Au stade d'arthrose, les traitements possibles sont majoritairement palliatifs dans un objectif de diminution des douleurs.[8]

L'enjeu de la prise en charge est d'intervenir avant l'apparition des lésions arthrosiques en rétablissant l'anatomie normale du carpe. Les autres objectifs, plus concrets pour le patient (sujets jeunes qui présentent souvent une demande fonctionnelle importante), sont la diminution des douleurs et la conservation des mobilités. Lorsque ces lésions sont diagnostiquées à un stade précoce, soit dans un délai de 6 semaines maximum après le traumatisme, le ligament est accessible à une réparation directe [2,6,9–11]. Au-delà de ce délai de 6 semaines, il n'existe plus de

possibilité de cicatrisation ligamentaire, l'instabilité scapho-lunaire est alors considérée comme chronique. Dans la majorité des cas, les instabilités scapho-lunaires sont diagnostiquées à distance du traumatisme.

De nombreuses techniques chirurgicales ont été proposées depuis les années 1970 afin de prendre en charge l'instabilité scapho-lunaire chronique en absence de moignon réparable et avant l'apparition de lésions arthrosiques, les plus rapportées étant les ligamentoplasties et les capsulodèses [2,12–20]. Cependant, les résultats de ces techniques sont imprévisibles, avec en particulier une distension du montage dans le temps ou des séquelles à type de perte de mobilité et de force. La multiplicité de ces techniques démontre également qu'aucune ne fait preuve de supériorité, ainsi il n'existe pas de consensus sur le choix de la technique. La technique idéale permettrait un maintien de la réduction dans le temps afin d'éviter l'apparition de lésions arthrosiques à long terme tout en permettant de retrouver toute la mobilité du poignet, la force, et l'indolence.

La technique « *all dorsal scapholunate repair* » développée par le Dr S. Shin en collaboration avec le laboratoire Arthrex est indiquée pour l'instabilité scapho-lunaire sans anomalie d'alignement du carpe ou en présence d'anomalies réductibles, sans moignon ligamentaire réparable et avec un cartilage sain. Elle permet de reconstruire le ligament scapho-lunaire à partir d'une bandelette synthétique de fibertape® (laboratoire Arthrex) associée à une autogreffe tendineuse fixés à l'aide d'ancres intra osseuses. Cette technique dite "*internal brace*" de renfort interne permettrait d'apporter un meilleur maintien à la ligamentoplastie et une stabilité plus importante au montage pendant la période critique de cicatrisation [21,22]. La réparation ligamentaire à l'aide de

fibertape® (laboratoire Arthrex) est déjà couramment utilisée en orthopédie [23–28] avec de bons résultats.

Cette technique opératoire est utilisée au Centre Hospitalo-Universitaire de Grenoble et à la Clinique Générale d'Annecy depuis juin 2019 en relais de la technique SLIC version 2 (*scapholunate intercarpal ligamentoplasty*) [29], et n'a pas encore fait l'objet d'études cliniques.

Le but de ce travail est d'évaluer les résultats cliniques, fonctionnels et radiologiques à court terme de cette nouvelle technique de ligamentoplastie.

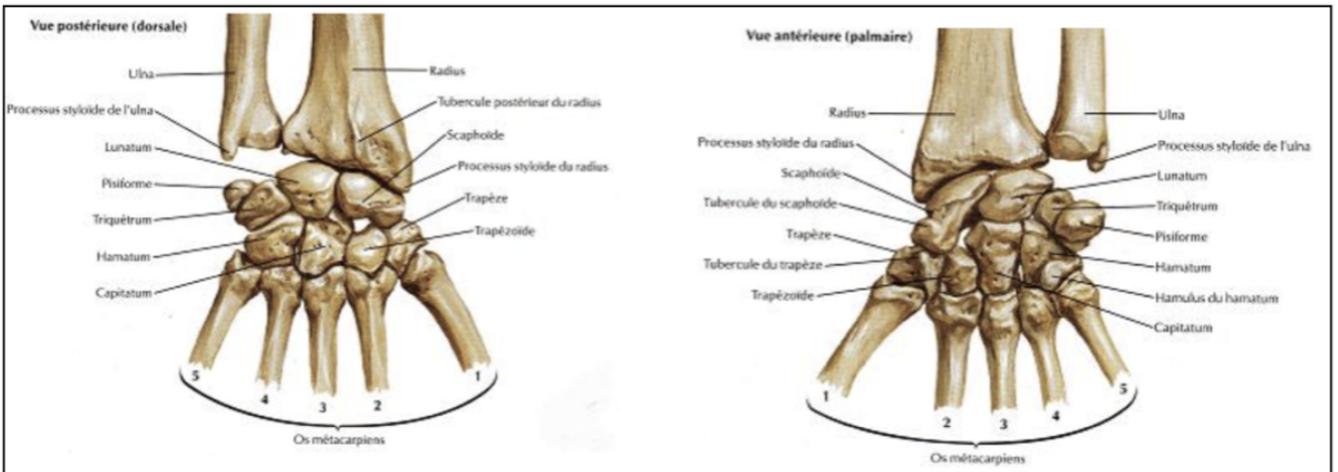
Ce travail se compose de quatre parties ciblées sur :

- l'anatomie fonctionnelle du complexe radio-carpien
- la biomécanique du carpe
- la physiopathologie de l'instabilité dissociative scapho-lunaire et son approche diagnostique
- notre étude rétrospective radio-clinique sur les résultats de la technique « *all dorsal scapholunate repair* »

II. RAPPELS D'ANATOMIE DESCRIPTIVE

Le carpe est une région anatomique située entre l'extrémité distale de l'ulna et du radius et la base des métacarpiens, formant le massif radio carpien (figure 1). Il permet de transmettre la force de préhension de l'avant bras au poignet.

Il est composé de 8 os classiquement décrits en 2 rangées.



II. 1.1. La rangée proximale des os du carpe

La rangée proximale du carpe est composée de radial à ulnaire du scaphoïde, du lunatum et du triquetrum en avant duquel est apposé le pisiforme.

Le scaphoïde constitue la clé de voûte entre la première et la deuxième rangée [8]. Cet os a la forme d'un ovoïde à grand axe oblique en bas et en avant reposant sur le socle constitué par la trapèze et la trapézoïde. Il est divisé en trois régions: le pôle

proximal, le pôle distal ou tubercule du scaphoïde et l'isthme qui sépare les deux pôles. Son pôle proximal s'articule par sa facette ulnaire au lunatum, et par sa facette radiale avec la fossette scaphoïdienne du radius, sa facette distale s'articule avec le trapèze et le trapézoïde, et la partie ulnaire avec la tête du capitatum. Il est couvert de cartilage sur près de 80% de sa surface.

Le lunatum est un os asymétrique avec une corne antérieure large et une corne postérieure plus petite. Il s'articule sur sa facette radiale avec le scaphoïde et sur sa facette ulnaire avec le triquetrum, son pôle proximal répond à la fossette lunarienne du radius et son pôle distal au capitatum et parfois également à l'hamatum. Le lunatum peut présenter différentes morphologies comme l'a décrit Viegas [30] selon qu'il possède une facette articulaire médiale avec l'hamatum (type 2) ou non (type 1) en plus de la facette articulaire avec le capitatum (figure 2).

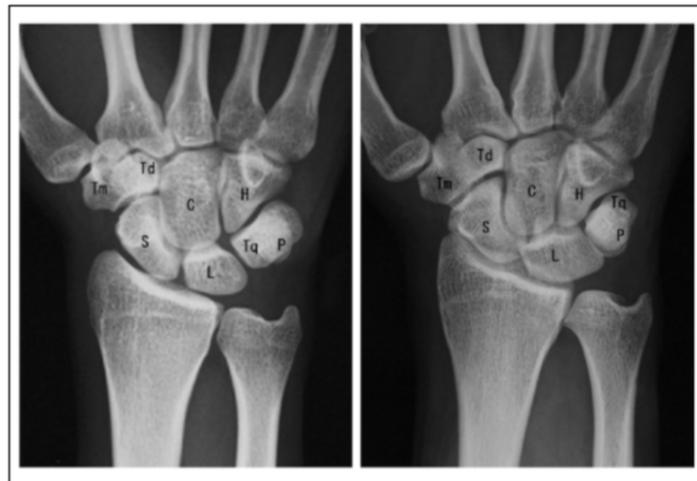


Figure 2. Illustration radiographique des deux types de lunatum:

- *Radiographie de gauche: lunatum de type I*
- *Radiographie de droite: lunatum de type II*

Présentation anglophone (haut de l'image=distal, bas=proximal)

In [Kawamura K, Chung KC, Management of wrist injuries, Plast Reconstr Surgery, 2007]

Cette morphologie pourrait influencer la biomécanique du ligament scapho-lunaire (LSL) [31] et il est admis qu'un lunatum de type 2 présente un risque plus élevé d'arthrose de l'hamatum proximal [32] ce qui sous-entend que cette articulation supplémentaire joue un rôle biomécanique au niveau de l'articulation médio carpienne. Par ailleurs l'incidence des DISI (*Dorsal intercalated segment instability* des anglophones : bascule en extension du lunatum) dans des contextes de pseudarthrose du scaphoïde est plus importante pour le lunatum de type 2. C'est pourquoi il est supposé que cette articulation luno-hamatale médiale joue un rôle dans la stabilité du lunatum en empêchant l'extension anormale de ce dernier [33]. Rhee *et al.* en 2009 a permis de faire la même association dans des contextes de lésions du LSL [34,35]. De plus, un lunatum de type 1 présente davantage de mobilité au niveau de l'articulation luno-capitale en flexion extension qu'un type 2 chez qui elle est plus importante en radio-lunaire [36] (figure 3).

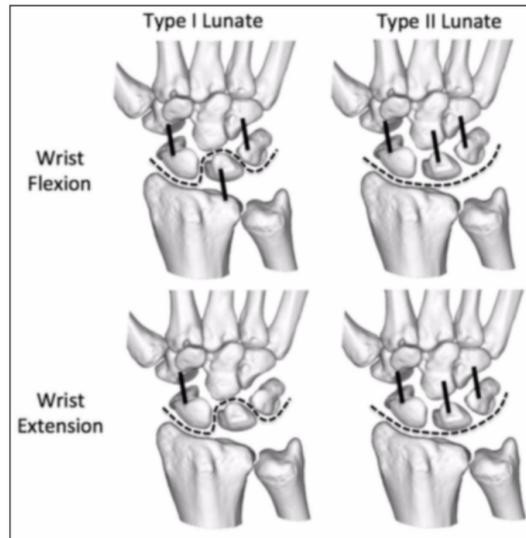


Figure 3. Zones de mobilité selon le type de lunatum (articulations dominantes en pointillés):

- Type 1: mobilité dans les articulations luno-capitale et radio-carpienne
 - Type 2: mobilité dans les articulations radio-lunaire et radio-carpienne
- Présentation anglophone (haut de l'image=distal, bas=proximal)

In [Garcia Elias M, Bain G, Luchetti R, IFHSS Scientific committee on Carpal Instability, Part 1 carpal instability, definition and investigation, May 2016]

Le triquetrum est un os ovoïde, il présente un tubercule postérieur sur lequel s'insère le ligament inter-carpien dorsal. Il s'articule avec l'hamatum via une pente hélicoïdale sur laquelle il glisse lors des mouvements d'inclinaison selon un mécanisme de vissage passant de la position haute proximale et dorsale où il tend à se mettre en flexion par rapport au radius à la position basse distale et palmaire en extension. Sa facette articulaire radiale s'articule avec le lunatum. Sur sa face palmaire, il présente une surface articulaire avec le pisiforme.

Le pisiforme est un os sésamoïde apposé sur la face articulaire palmaire du triquetrum sur lequel s'insère le tendon du FUC, il ne présente aucun rôle dans la biomécanique du carpe.

II. 1. 2. La rangée distale des os du carpe

La rangée distale du carpe est composée de radial en ulnaire, du trapèze, du trapézoïde, du capitatum et de l'hamatum.

Le capitatum est le plus volumineux des os du carpe. Son pôle proximal s'articule avec les surfaces articulaires du couple scapho-lunaire, et sa facette radiale avec l'hamatum.

L'hamatum peut s'articuler avec une fossette articulaire individualisée du lunatum en proximal (Lunatum type 2 de Viegas). Sa pente articulaire proximale permet le glissement du triquetrum. Il présente un crochet antérieur, l'hamulus, où s'insère le ligament annulaire antérieur du carpe.

II. 2. ANATOMIE LIGAMENTAIRE

Pour comprendre les différents aspects de l'instabilité scapho-lunaire, il faut raisonner selon la notion de complexe ligamentaire scapho-lunaire, dont la lésion du LSL est le prérequis essentiel, mettant en jeu les ligaments intrinsèques, extrinsèques, palmaires et dorsaux, du carpe.

Les ligaments du poignet peuvent être divisés en deux catégories comme décrit par Taleisnik en 1976 [37]:

- les ligaments intrinsèques, reliant les os du carpe entre eux

- Les ligaments extrinsèques, reliant le carpe aux 2 os de l'avant bras ou aux métacarpiens.

Ils sont classés selon leur localisation dorsale ou palmaire.

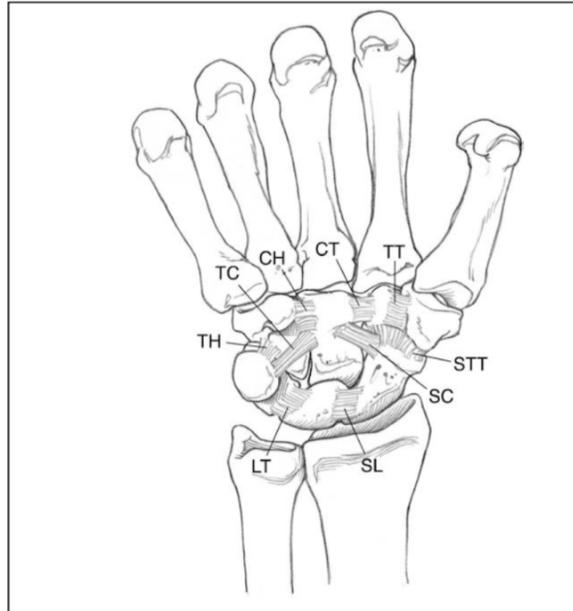


Figure 4. Vue palmaire du poignet, illustration des ligaments intrinsèques

TH: ligament triquetro-hamatal, TC: ligament triquétricapital, CH: ligament capito-hamatal, CT: ligament capitotrapézial, TT: ligament trapézo-trapézoïdal, STT: ligament scapho-trapézo-trapézoïdal, SC: ligament scapho-capital, SL: ligament scapho-lunaire, LT: ligament luno-triquétral

Présentation anglophone (haut de l'image=distal, bas=proximal)

In [Chim H, Moran SL, Wrist essentials: the diagnosis and management of scapholunate ligament injuries, Pal Reconstr Surg, 2014 Aug; 134(2):312e-322e]

Au vu du nombre important de ligaments présents dans le carpe (plus d'une trentaine de ligaments sont recensés [38]), nous nous intéresserons plus particulièrement aux ligaments ayant un rôle dans la stabilité scapho-lunaire formant le complexe scapho-lunaire [31,39,40]. Il s'agit des ligaments suivants:

- le ligament scapho-lunaire (ligament intrinsèque)

- Le ligament radio-scapho-lunaire (ou ligament de Testud, il s'agit d'un ligament palmaire extrinsèque)
- Le ligament radio-scapho-capital (ligament palmaire extrinsèque)
- Le complexe ligamentaire scapho-trapézo-trapezoidal (ligament palmaire intrinsèque)
- Le ligament inter carpien dorsal (ligament dorsal intrinsèque)
- Le ligament radio-carpien dorsal (ligament dorsal extrinsèque)
- Le ligament radio-lunaire long ou radio-luno-triquetral (palmaire extrinsèque)
- Le ligament court radio-lunaire

Leur anatomie est décrite ci-dessous[41–45] (figure 4).

II. 2. 1. Ligaments intrinsèques

II. 2. 1. 1. Ligaments interosseux de la première rangée des os du carpe

Les ligaments interosseux unissent les os du carpe entre eux. Ils couvrent la face proximale, palmaire et dorsale de leurs articulations respectives. Ils comportent différentes portions ayant des caractéristiques histologiques différentes qui permettent de les diviser en région palmaire, dorsale, et proximale. Nous nous intéresserons plus particulièrement aux ligaments scapho-lunaire et luno-triquétral.

II. 2. 1. 1. 1. Ligament scapho-lunaire

Le ligament scapho-lunaire est le principal stabilisateur de l'articulation scapho-lunaire [46–48], il est disposé entre le scaphoïde et le lunatum isolant

l'articulation radio-carpienne de l'articulation médio-carpienne. Il s'agit d'un ligament en forme de « C » comprenant trois portions [49,50] (figure 5):

- dorsale
- proximale
- palmaire

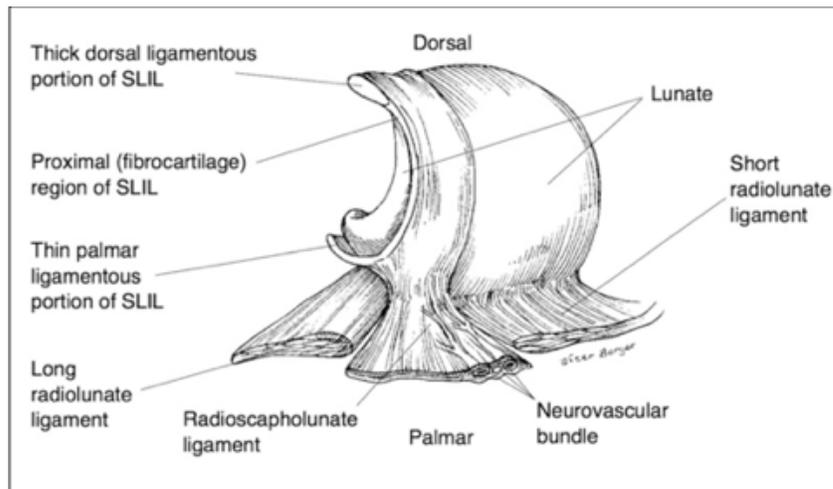


Figure 5. Ligament scapho-lunaire, in [Walsh JJ, Berger RA, Cooney WP. Current status of scapholunate interosseous ligament injuries. J Am Acad Orthop Surg. 2002. Jan-Feb;10[1]: 32-42]

La région dorsale du LSL est la plus résistante et la plus épaisse. Elle est composée de fibres de collagène orientées transversalement entre la marge radiale de la corne dorsale du lunatum et la marge ulnaire et dorsale du pôle proximal du scaphoïde. C'est cette portion qui présente un rôle essentiel dans la stabilité scapho-lunaire et fait de ce ligament le principal stabilisateur. La région palmaire est fine et les fibres sont orientées obliquement de palmaire en dorsal, du scaphoïde vers le lunatum. Cette portion joue également un rôle (moindre que la portion dorsale) en termes de stabilité dans les mouvements de rotation [10]. La région proximale est

composée de fibrocartilage avasculaire. Au niveau palmaire, elle rejoint le ligament radio-scapho-lunaire par des fibres verticales. Cette portion ne présente pas de rôle dans la stabilité du carpe.

II. 2. 1. 1. 2. Ligament luno-triquétral

Le ligament luno-triquétral joint les berges ulnaire du lunatum et radiale du triquetrum au niveau de l'articulation luno-triquétrale. On distingue également trois segments: palmaire, dorsal et proximal. Contrairement au LSL, le segment palmaire est plus résistant que le segment dorsal.

Le lunatum qui ne présente pas de lien avec la rangée distale du carpe, se retrouve ainsi suspendu entre le scaphoïde et le triquetrum [43].

II. 2. 1. 2. Ligaments intrinsèques médio carpiens

Les ligaments intrinsèques médio carpiens jouant un rôle dans la stabilité du couple scapho-lunaire sont regroupés sous la dénomination de complexe scapho-trapézo-trapézoïde. Cet ensemble est composé des ligaments scapho-capital, scapho-trapézo-trapézoïdal [48,51,52] et des renforcements capsulaires palmaires et dorsaux.

II. 2. 1. 2. 1. Ligament scapho-trapézo-trapézoïdal

Le ligament scapho-trapézo-trapézoïdal présente deux portions, ayant pour origine la berge radiale et la berge palmaire de la tubérosité du scaphoïde. Ces deux branches poursuivent ensuite un trajet divergent, l'un vers la crête du trapèze, il s'agit de la bande scapho-trapéziale, et l'autre vers la berge proximale du trapézoïde, il s'agit

de la bande scapho-trapézoïdale. L'association de ces deux ligaments forme ainsi une structure en V dont l'apex est proximale au niveau du scaphoïde. Leur rôle principal est la stabilisation de l'articulation médio carpienne mais ils jouent également un rôle de stabilisateurs secondaires du couple scapho-lunaire.

II. 2. 1. 2. 2. Ligament scapho-capital

Le ligament scapho-capital est un large ligament ayant pour origine la moitié ulnaire de la face palmaire du scaphoïde et s'insère par un trajet oblique en distal et en ulnaire sur la moitié radiale de la face palmaire du corps du capitatum.

Les ligaments scapho-trapézo-trapézoïdal et scapho-capital assurent le support du pôle distal du scaphoïde, et permettent de contrer la flexion du scaphoïde [43,47,48,52,53].

II. 2. 1. 3. Ligament intrinsèque dorsal

L'importance des ligaments dorsaux a été mise en évidence initialement par Viegas en 1999 [54], puis développée par d'autres auteurs [55].

Le principal ligament intrinsèque dorsal est le ligament inter carpien dorsal. Son origine se situe sur le tubercule dorsal du triquetrum, ce ligament présente ensuite des attaches variables. Il est admis que dans la majorité des cas une portion épaisse s'insère sur la face dorsale du lunatum et du scaphoïde et une autre plus fine s'étend en disparité sur le trapèze, le trapézoïde et parfois même le capitatum [49,52,54,56].

Son rôle est de stabiliser le scaphoïde et le lunatum afin d'éviter une bascule postérieure du lunatum et la subluxation rotatoire du scaphoïde [57].

II. 2. 2. Ligaments extrinsèques

II. 2. 2. 1. Ligaments extrinsèques palmaires

Le complexe ligamentaire scapho-lunaire comprend également les ligaments radio-scapho-capital, radio-scapho-lunaire, radio-luno-triquétral (ou radio-lunaire long) et radio-lunaire court. Ces ligaments extrinsèques palmaires jouent également un rôle dans la stabilité scapho-lunaire en tant que stabilisateurs secondaires (figure 7).

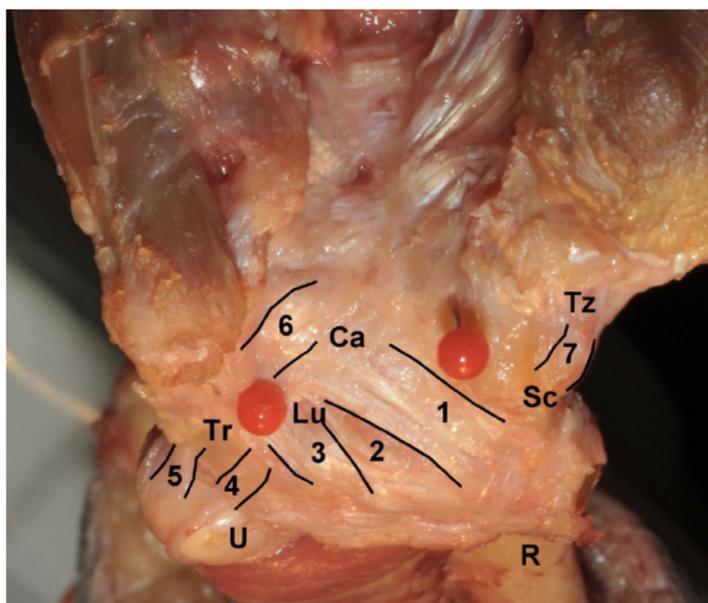


Figure 6. Dissection anatomique des ligaments de la face palmaire du poignet

Ca: capitatum, Tr: triquétrum, Sc: scaphoïde, Tz: trapèze, Lu: lunatum, R: radius, 1: ligament radio-scapho-capital, 2: ligament radio-lunaire long, 3: ligament radio-lunaire court, 4: ligament ulno-lunaire, 5: Ligament ulno-triquétral, 6: ligament triquétracapital, 7: ligament scaphotrapézial.

Présentation anglophone (haut de l'image=distal, bas=proximal)

In [Van Overstraeten L, Camus EJ, The role of extrinsic ligament in maintaining carpal stability- a prospective statistical analysis of 85 arthroscopic cases, *Han Surg Rehabil.* 2016 Feb; 35(1):10-5]

II. 2. 2. 1. 1. Ligament radio-scapho-capital

Le ligament radio-scapho-capital est le ligament palmaire le plus radial. Il trouve son origine sur la face palmaire du radius distal entre la pointe de la styloïde radiale et le milieu de la fossette scaphoïdienne, il s'insère ensuite sur l'isthme du scaphoïde, son pôle distal et environ 10% de ses fibres se terminent sur la face palmaire du corps du capitatum. Ce ligament permet de limiter la pronation radio carpienne et la translation ulnaire du carpe. Il agit comme un ligament collatéral radial pour le scaphoïde évitant sa flexion palmaire [14,42].

II. 2. 2. 1. 2. Ligaments radio lunaires court et long

Le ligament radio-luno-triquétral ou plus couramment appelé radio-lunaire long présente une attache proximale sur la face palmaire du radius distal au niveau de la fossette scaphoïdienne, juste ulnaire par rapport au ligament radio-scapho-capital; il suit ensuite un trajet parallèle à celui du ligament radio-scapho-capital et se termine sur la corne antérieure du lunatum. Il exerce un effet stabilisateur sur le lunatum en luttant contre son extension [39,55,58]. Dans son trajet, il chevauche le pôle proximal du scaphoïde sans s'y insérer agissant ainsi comme support de ce pôle proximal [49]. Entre le ligament radio-lunaire long et le ligament radio-scapho-lunaire, il existe un espace de fragilité appelé espace de Poirier.

Le ligament radio-lunaire court s'insère sur le pôle ulnaire et palmaire de la fossette lunarienne du radius et ses fibres se dirigent vers la face palmaire du lunatum.

Les ligaments radio-lunaires court et long stabilisent le lunatum en rotation, ils préviennent son extension et sa translation palmaire [14].

II. 2. 2. 1. 3. Ligament radio-scapho-lunaire

Le ligament radio-scapho-lunaire ou ligament de Testud n'est pas un réel ligament mais une méso-capsule. Anatomiquement, il s'insère entre les ligaments radio-lunaires long et court au niveau de la crête entre les fossettes lunarienne et scaphoïdienne du radius distal puis ses fibres se dirigent verticalement du radius au scaphoïde et au lunatum. Il agit comme une lame porte vaisseaux et porte nerfs notamment pour la vascularisation du ligament scapho-lunaire.

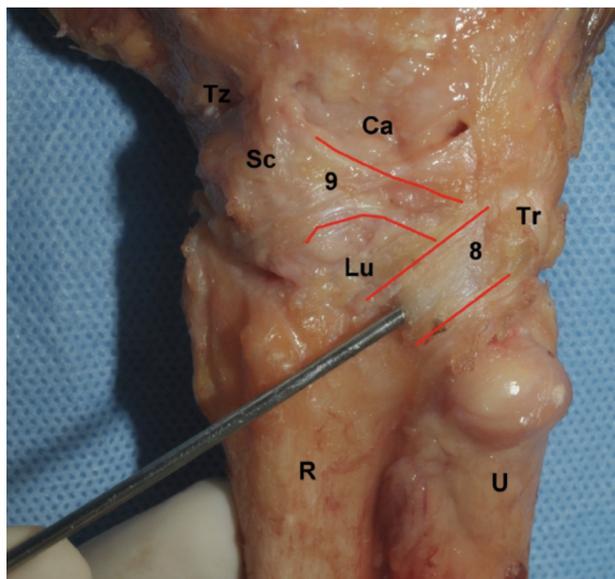
II. 2. 2. 2. Ligament extrinsèque dorsal

Le ligament radio-carpien dorsal est le second ligament dorsal (en plus du ligament inter-carpien dorsal) ayant un rôle dans la stabilité scapho-lunaire. Il présente comme le ligament inter carpien dorsal des variations anatomiques décrites par Mitzuseki puis Viegas en 1999 [54,56]. Cependant, il présente deux attaches systématiques: une attache proximale sur la berge ulno-dorsale du radius distal, du tubercule de Lister à la crête osseuse entre la fossette du lunatum et celle du scaphoïde et une attache distale sur le tubercule dorsal du triquetrum. Il possède une forme trapézoïdale de base proximale sur le radius (figure 7).

Son rôle est de maintenir le lunatum apposé au radius distal. Il renforce les fibres des portions dorsales des ligaments interosseux et permet de limiter la supination et la

translation ulnaire du carpe. À ce jour, aucune spécificité fonctionnelle du ligament selon son anatomie n'a été décrite.

Les ligaments inter carpien dorsal et radio carpien dorsal forment une structure en « V » communément appelée V dorsal de Sennwald et Seegmuller [59] dont la pointe se situe sur le triquétrum. Cette disposition permet une stabilisation dorsale indirecte du scaphoïde par rapport au radius. L'angle entre les deux ligaments varie en fonction de la position du carpe permettant de stabiliser le carpe tout en conservant la mobilité [43,54,60].



*Figure 7. Dissection anatomique des ligaments de la face dorsale du poignet
Ca: capitatum, Tr: triquétrum, Sc: scaphoïde, Tz: trapèze, Lu: lunatum, R: radius, U: ulna
8: ligament radio-carpien dorsal, 9: ligament intercarpien dorsal*

Présentation anglophone (haut de l'image=distal, bas=proximal)

In [Van Overstraeten L, Camus EJ, The role of extrinsic ligament in maintaining carpal stability- a prospective statistical analysis of 85 arthroscopic cases, Han Surg Rehabil. 2016 Feb; 35(1):10-5]

II. 2. 3. Septum dorsal capsulo scapho-lunaire (DCSS)

Depuis les travaux de Viegas en 1999, les études anatomiques réalisées dans les suites ont permis de mettre en évidence une structure reliant le ligament inter carpien dorsal et la portion dorsale du LSL à la capsule dorsale, nommée « *Dorsal capsule scapholunate septum* » ou DCSS par l'EWAS (*European Wrist Arthroscopy Society*) . Son rôle biomécanique n'a pas encore été totalement élucidé mais les études réalisées montrent qu'il prend part à la stabilité scapho-lunaire en tant que stabilisateur secondaire du couple scapho-lunaire [61–63].

II. 3. RÔLE DES MUSCLES DANS LA STABILITÉ DU CARPE

La stabilisation du poignet est également permise grâce à l'appareil musculaire de l'avant bras. Ces muscles complètent l'action des ligaments, il s'agit des muscles fléchisseur ulnaire du carpe (FUC), fléchisseur radial du carpe (FCR), long extenseur radial du carpe (ECRL), extenseur ulnaire du carpe (ECU) et long abducteur du pouce (LAP).

Initialement décrit par Kauer [46], un rôle de stabilisateurs collatéraux a été attribué au LAP et à l'ECU pour compenser l'absence de véritable ligament collatéral du poignet. En réalité, l'ensemble des tendons qui traversent le carpe ont un rôle dynamique dans sa stabilité. En effet, plaqués contre le massif carpien selon un trajet longitudinal, ces muscles agissent comme une véritable cage tendineuse lors des efforts de verrouillage, participant à la cohésion du poignet [64] (figure 8).

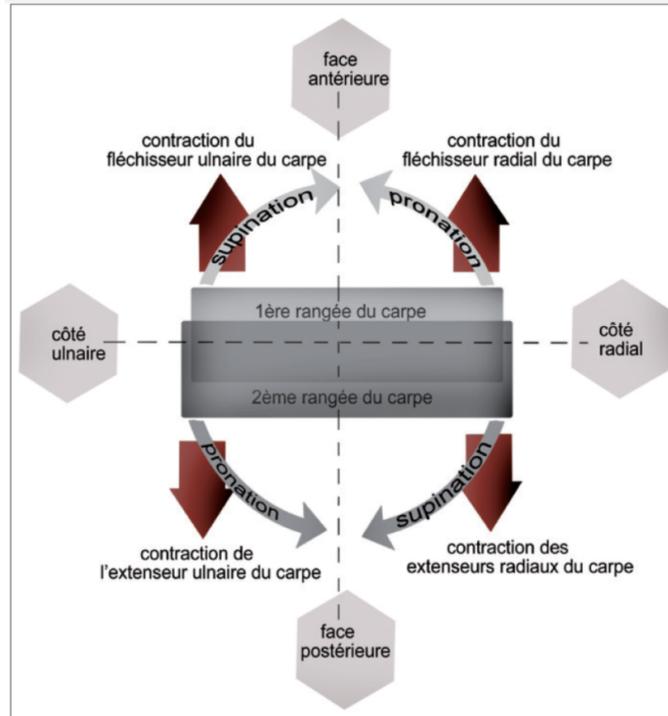


Figure 8. Illustration de l'action des muscles de l'avant bras sur le poignet,
 In [Mesplié G, *Instabilités du carpe chez le sportif, Promanu (société suisse de rééducation de la main), 2017*]

Une classification établie par Salva divise les muscles selon leur action sur l'articulation médio carpienne. Ainsi l'ECU et le FCR entraînent une pronation médio carpienne lors de leur contraction alors que le FUC, l'ECRL et le LAP ont une action de supination médio carpienne [65–68]. Lorsque l'ensemble de ces muscles se contractent de manière isométrique sur un poignet sain, l'articulation médio carpienne présente un mouvement de supination [67,69]. Il est admis que les muscles supinateurs ont un rôle de protection de l'espace scapho-lunaire alors que les muscles pronateurs ont un rôle protecteur sur l'espace luno-triquétral [70] et sont les plus à risque d'aggraver une ISL lorsque celle-ci est déjà présente [71]. En effet lorsque les muscles supinateurs se contractent, les ligaments scapho-trapézo-trapézoïdien et scapho-capital entraînent le

scaphoïde en extension et en supination, permettant ainsi de replacer le pôle proximal du scaphoïde dans la fossette scaphoïdienne du radius (figure 9).

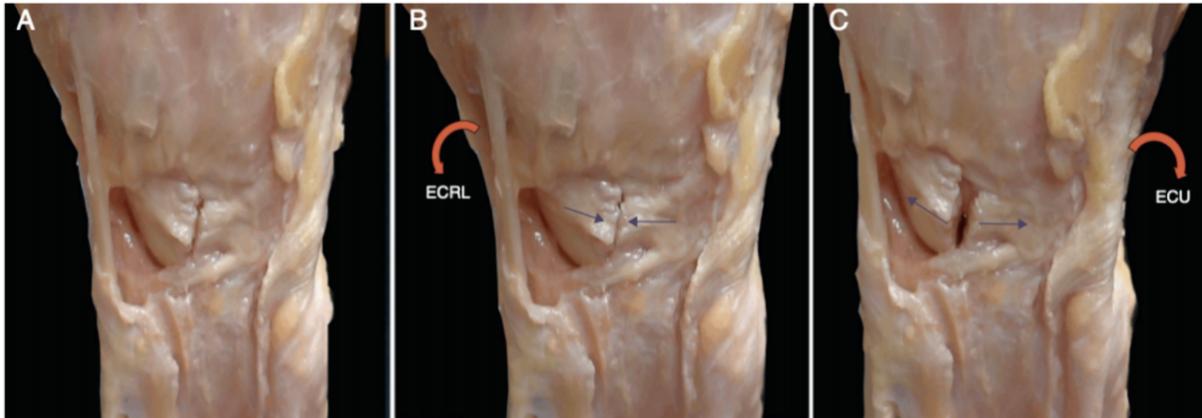


Figure 9. Vues dorsales d'un poignet avec section complète du ligament scapho-lunaire
A: diastasis scapholunaire sur lésion scapholunaire en dehors de toute contraction musculaire
B: augmentation de la coaptation scapho-lunaire lors de la contraction du long extenseur radial du carpe
C: Augmentation du diastasis scapho-lunaire lors de la contraction de l'extenseur ulnaire du carpe
Présentation anglophone (haut de l'image=distal, bas=proximal)
In [Leon Lopez MM, Garcia Elias M, Salva Cool G, Llusà-Perez M, Lluch-Bergada A, Muscular control of scapholunate instability, An experimental study, Rev Esp Cir Ortop Traumatol, 2014 Jan;58(1); 11-8]

Le FCR présente un rôle particulier dans la stabilité du carpe. Avant de s'insérer distalement sur la base du 2ème métacarpien, son trajet passe en avant de la tubérosité du scaphoïde faisant office de poulie à la face palmaire du scaphoïde [72] (figure 10)

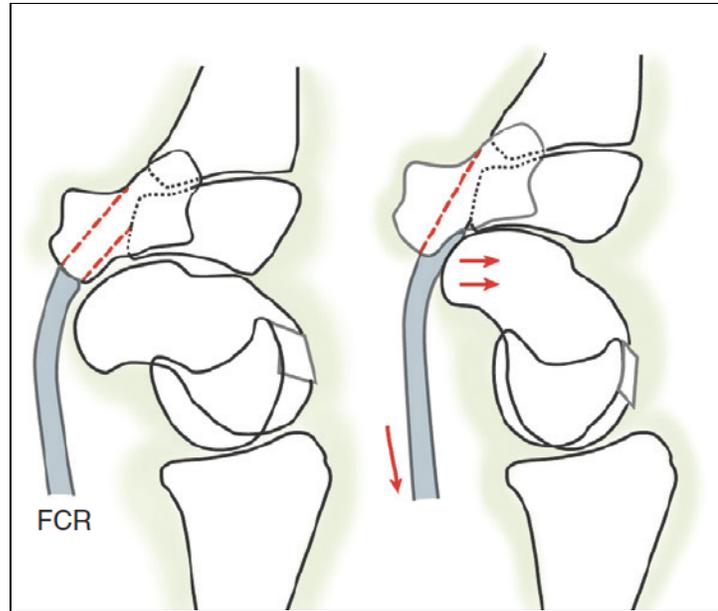


Figure 10. Rôle du fléchisseur radial du carpe (FCR): la contraction du fléchisseur radial du carpe induit un mouvement de supination au scaphoïde qui s'oppose à la tendance naturelle du scaphoïde à la flexion et pronation.

Présentation anglophone (haut de l'image=distal, bas=proximal)

In Wolfe SW, Hotchkiss NR, Pederson WC, Kozin SH, Green's Operative Hand surgery, sixth edition, 2011

Ainsi lors de sa contraction, il induit un mouvement de supination du scaphoïde qui permet de lutter contre son horizontalisation [5,68,73]. Lors de sa contraction, il induit donc à la fois un mouvement de pronation du lunatum de part son rôle de muscle pronateur associé un mouvement de supination du scaphoïde. Ces forces convergentes ont un effet de coaptation sur l'articulation scapho-lunaire et donc un effet stabilisateur (figure 11). Des applications cliniques en kinésithérapie ont été développées; en effet un renforcement musculaire du FCR peut améliorer les symptômes cliniques en cas d'instabilité dynamique [68], [74,75].

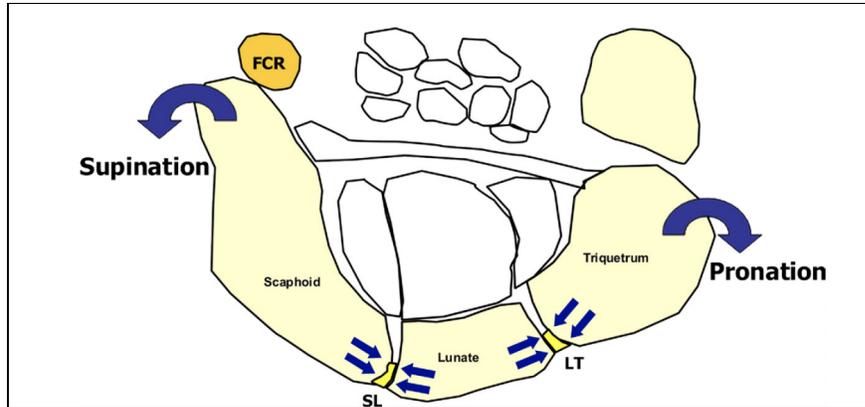


Figure 11. Rôle du FCR: la contraction du FCR entraîne une pronation du triquétrum (de la première rangée), et une supination du scaphoïde ayant pour effet une coaptation de l'espace scapho-lunaire. In [Wolfe SW, Hotchkiss NR, Pederson WC, Kozin SH, Green's Operative Hand surgery, sixth edition, 2011]

II. 4. RÔLE DE LA PROPRIOCEPTION DANS LA STABILITÉ DU CARPE

Une autre facette du rôle stabilisateur des muscles prend place grâce à des boucles proprioceptives. En effet, on note la présence de nombreux mécanorécepteurs dans les ligaments du carpe et notamment les ligaments scapho-lunaire, radio carpien dorsal et inter carpien dorsal [76,77]. La découverte de ces récepteurs a permis le développement de nombreuses hypothèses sur le rôle de la proprioception dans la stabilité carpienne. La principale hypothèse est celle de notion de réflexe ligamento-musculaire. Lors des mouvements du poignet, les mécanorécepteurs présents dans les ligaments fournissent des informations au système nerveux central afin d'organiser la réponse musculaire la plus adaptée à la position du poignet et éviter les lésions ligamentaires [63,78]. C'est l'hypothèse étudiée et validée par Hagert *et al.* en 2009 [74], selon laquelle le LSL joue un rôle dans le contrôle proprioceptif du poignet. Elle a pu observer qu'en extension et inclinaison ulnaire ou radiale (positions

dans lesquelles le LSL est tendu), la première réponse musculaire à ces mouvements est la contraction du FRC et du FUC. La contraction de ces muscles antagonistes permet ainsi de limiter un mouvement de plus grande amplitude potentiellement délétère pour le ligament scapho-lunaire. Cette contraction est suivie d'une co-contraction des agonistes et antagonistes. De la même manière, en position de flexion de poignet, on observe une contraction de l'ECRL. Ces recrutements spécifiques de muscles antagonistes devant un mouvement potentiellement délétère pour les ligaments serviraient de boucle de protection du poignet pour permettre d'anticiper une potentielle lésion ligamentaire. En 2016, dans une autre étude, Hagert *et al.* ont également mis en évidence que lors d'une désensibilisation du LSL, on assiste à une diminution importante de ces réflexes [79].

II. 5. CONCLUSION

Il est admis que le le LSL est le principal stabilisateur de l'articulation scapho-lunaire et les ligaments radio-scapho-lunaire, radio-scaphocapitate, long et court radio-lunaires, radio-carpien dorsal et inter carpien dorsal sont des stabilisateurs secondaires, ce qui signifie qu'une lésion isolée du LSL n'engendre pas de changements majeurs dans la cinétique du carpe. L'instabilité scapho-lunaire (ISL) dépend en réalité de la lésion du LSL et des lésions des ligaments stabilisateurs secondaires [10,39,42,80–83].

Le DCSS joue un rôle de stabilisateur secondaire du couple scapho-lunaire. Cependant son rôle n'est pas encore totalement élucidé à ce jour.

Certains ligaments dont le LSL, le ligament inter carpien dorsal ou le ligament dorsal radio-carpien ont un rôle de stabilisation passive mais également active du poignet par le biais de boucles proprioceptives. Celles-ci permettent d'activer les muscles nécessaires pour contrer un mouvement qui pourrait entraîner une lésion ligamentaire du poignet.

Ainsi la stabilité du carpe dépend des 4 pré requis suivants [69]:

- Des surfaces articulaires congruentes, sans anomalie anatomique
- Une capsule et des ligaments intacts [84]
- Un système sensori-moteur compétent, (système de mécanorécepteurs permettant la stabilisation neuromusculaire du poignet à l'aide de boucles proprioceptives)
- Les muscles du poignet qui interviennent de manière dynamique dans la stabilisation du poignet

III. BIOMÉCANIQUE ET CINÉMATIQUE DU CARPE

Pour comprendre les mécanismes impliqués dans l'ISL, la biomécanique du poignet doit être précisée, le poignet étant l'un des ensembles articulaires le plus complexe du corps humain.

III. 1. LES THÉORIES HISTORIQUES DE LA BIOMÉCANIQUE DU CARPE

De nombreuses théories ont été proposées afin d'expliquer la cinématique du carpe [85,86]. Parmi les théories historiques, on retrouve la théorie des rangées, la théorie des colonnes et la théorie « *oval ring* ».

III. 1. 1. La théorie des rangées

La théorie des rangées introduite par Bryce et Destot [87] divise le carpe en deux rangées proximale et distale correspondant aux rangées anatomiques actuelles. Selon cette théorie, chaque rangée se mobilise de façon indépendante l'une par rapport à l'autre. La flexion et l'extension ont lieu dans l'articulation médio carpienne et l'inclinaison radiale et ulnaire grâce au scaphoïde et l'articulation radio carpienne [88]. Dans les suites, Linscheid modifie cette théorie et décrit le scaphoïde comme le lien entre la première rangée et la deuxième rangée du carpe, coordonnant la mobilité des deux rangées et le couple lunatum-triquetrum comme un segment intercalé ne présentant pas d'attache musculo tendineuse.



*Figure 12. La théorie des rangées
Présentation francophone (haut de l'image=proximal, bas=distal)
In [Kapandji A, Biomechanics of the carpus and the wrist, Ann Chir Main 1982;6(2):147-69]*

III. 1. 2. La théorie des colonnes

Décrite par Navarro en 1921[85], elle définit trois colonnes fonctionnelles verticales qui apportent chacune une forme de stabilité[14]:

- Colonne externe de stabilité: elle comprend le scaphoïde, le trapèze et le trapézoïde, et permet de transmettre les forces de compression axiale du poignet
- Colonne centrale de flexion/extension: élément central du carpe, elle comprend le capitatum, l'hamatum et le lunatum, et permet les mouvements de flexion/extension

- Colonne interne de rotation: elle comprend uniquement le triquetrum, et intervient dans les mouvements de rotation et de pronosupination.

Cette théorie a ensuite été modifiée à de nombreuses reprises, notamment par Taleisnik [1], Taleisnik estimait que la deuxième rangée du carpe avec le lunatum agissait comme une seule entité formant la colonne centrale en forme de T, la colonne latérale formée uniquement du scaphoïde et la colonne médiale du triquetrum tout en leur accordant les mêmes rôles que ceux décrit par Navarro [59] (figure 13). Dans cette théorie, on estime que la flexion et l'extension ont lieu dans cette colonne centrale et l'inclinaison ulnaire et radiale grâce à la rotation du scaphoïde et du triquetrum par rapport à la colonne centrale [88].

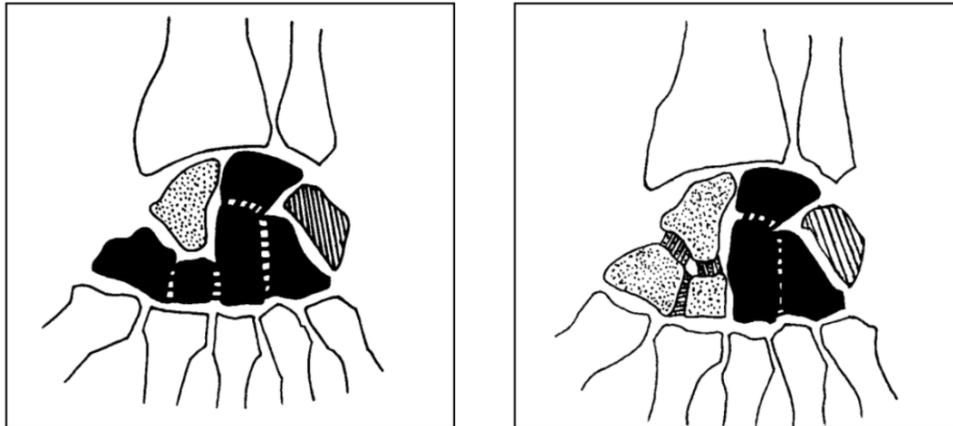


Figure 13. La théorie des colonnes:

- Illustration de gauche: la théorie des colonnes modifiée par Taleisnik
 - Illustration de droite: la théorie des colonnes selon Navarro
- Présentation francophone (haut de l'image=proximal, bas=distal)

In [Lichtman D M, Schneider J R, Swafford A R & Mack G R (1961). Ulnar midcarpal instability - clinical and laboratory analysis. *The Journal of Hand Surgery* 6(5), 515-523]

III. 1. 3. La théorie « oval ring »

En 1988, Lichtman développe une autre théorie dite « *oval ring* » [58,89], il envisage le carpe tel 4 segments interdépendants: la rangée distale du carpe, le scaphoïde, le lunatum et le triquetrum (figure 14). Les ligaments et la capsule articulaire permettent de relier chaque segment aux deux segments adjacents. En particulier le ligament scapho-trapézial (connection radiale) et le ligament triquéro-hamatal (connexion ulnaire), forment deux liens physiologiques. Ainsi la continuité des ligaments assure une mobilisation carpienne synchrone et synergique: chaque segment entraînant un autre grâce à leurs attaches se mobilisant autour d'un axe situé dans la tête du capitatum. Dans cette théorie, le carpe est visualisé comme un anneau fonctionnel avec la rangée proximale répondant aux contacts articulaires et aux ligaments qui la relie à la rangée distale.

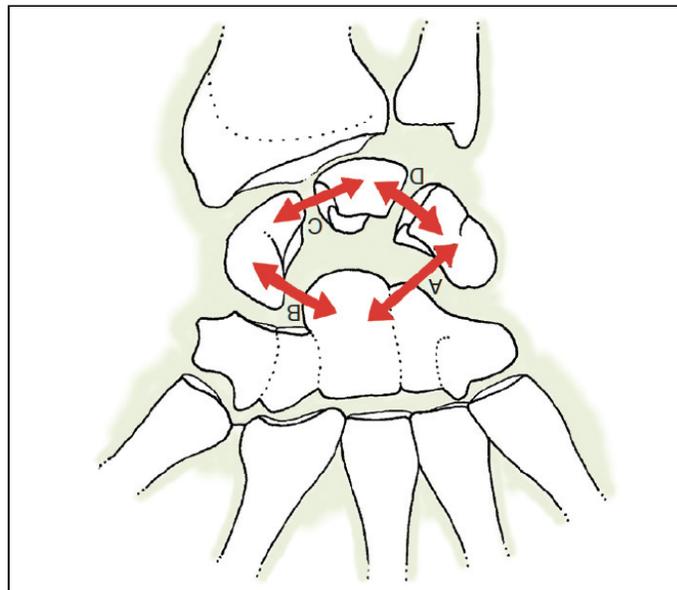


Figure 14. La théorie "oval ring" selon Lichtman,
Présentation francophone (haut de l'image=proximal, bas=distal)
In [Wolfe SW, Hotchkiss NR, Pederson WC, Kozin SH, Green's Operative Hand surgery, sixth edition,
2011]

III. 2. ÉVOLUTION DU CONCEPT DE BIOMÉCANIQUE DU CARPE

Actuellement, ces théories ont été plus ou moins abandonnées car le carpe possède une cinématique complexe, tridimensionnelle [46,60,64,75,90–93] à partir de mouvements simples qui se combinent. La cinématique du carpe ne peut être réduite à un modèle précis. Cette cinématique n'est pas encore à ce jour complètement connue et fait encore l'objet de discussions [86,94–97]. En réalité, le carpe est un ensemble dynamique dans lequel les glissements des os les uns par rapport aux autres modifient la forme et les dimensions du carpe selon les contraintes qui lui sont imposées. Le concept de carpe à géométrie variable a ainsi été introduit dans les années 1980 [97–100]. Le carpe possède une géométrie variable pour s'adapter aux contraintes qui lui sont imposées et maintenir la congruence articulaire inter et intra-rangée et la cohésion spatiale du massif carpien. C'est grâce à l'association des mouvements de chaque os entre eux qu'on obtient le mouvement global du poignet, ces mouvements sont dépendants de l'anatomie de chaque articulation du carpe et des ligaments associés.

La division fonctionnelle du carpe en deux rangées proximale et distale est cependant couramment utilisée dans les descriptions de biomécanique car permettant une vision plus simple sans pour autant constituer le modèle de référence [91].

III. 3. BIOMÉCANIQUE APPLIQUÉE

Le poignet présente trois degrés de liberté au travers des trois articulations principales qui le forment:

- l'articulation radio carpienne et l'articulation médio carpienne qui permettent les mouvements de flexion/extension dans le plan frontal et d'inclinaison radiale et ulnaire dans le plan sagittal.
- L'articulation radio-ulnaire distale qui permet les mouvements de pronosupination.

Le centre de rotation du poignet est situé au centre de la tête du capitatum [86,101].

Les amplitudes sont en moyenne les suivantes:

- Dans le plan frontal, l'inclinaison radiale est de 25° et l'inclinaison ulnaire de 45°
- Dans le plan sagittal la flexion est de 85° et l'extension de 85° également.
- Dans le plan axial, la pronosupination a lieu en majorité dans l'articulation radio ulnaire distale, la pronation est de 85° et la supination de 90°

La rangée proximale du carpe n'est le siège d'aucune insertion tendineuse [102] ce qui en fait une rangée indépendante de tout contrôle musculaire. Il s'agit d'une rangée intercalée (*intercalated segment* des anglophones) entre la glène antébrachiale formée par le radius et l'ulna et la rangée distale du carpe via l'articulation médio carpienne. La mobilité de la rangée proximale ne dépend ainsi que des forces appliquées au travers des articulations sus et sous-jacentes. Sa stabilité est assurée notamment par un système ligamentaire complexe que nous venons de développer [103–106], et sans eux cette rangée est instable. Les os de la rangée proximale du carpe sont reliés entre eux par de forts ligaments interosseux que sont le LSL et le ligament luno-triquébral. Lors des mouvements de flexion/extension ou d'inclinaison

radiale ou ulnaire, les os de la rangée proximale du carpe se mobilisent dans la même direction mais dans des amplitudes différentes, cette différence d'amplitude est estimée à 30% entre la lunatum et le scaphoïde. Ainsi il est admis que le lunatum est l'os le moins mobile de la rangée proximale alors que le scaphoïde est le plus mobile [14,75,91,96,107–109].

La rangée distale du carpe présente quant à elle peu de mobilité, les os qui la constituent sont liés entre eux par de solides ligaments interosseux qui permettent un degré de mobilité négligeable entre les os de la rangée distale. Elle se mobilise globalement avec les deuxième et troisième métacarpiens auxquels elle est reliée par de puissants ligaments interosseux [90].

III. 3. 1. Position d'équilibre des os de la première rangée

En dehors de toute stabilisation ligamentaire, le scaphoïde présente une tendance naturelle à la flexion palmaire de par son grand axe dirigé vers le bas et l'avant entre le socle trapézien et la glène radiale. Le triquetrum quant à lui présente une tendance naturelle à l'extension. Ainsi le lunatum positionné en équilibre entre la tête du capitatum et la glène radiale, est soumis à des contraintes opposées: un mouvement d'extension transmis par le ligament luno-triquétral et un mouvement de flexion transmis par le LSL. Sur un poignet sain, si les ligaments luno-triquétral et SL sont compétents, ces deux contraintes opposées vont se neutraliser, permettant au lunatum d'être maintenu en équilibre entre le scaphoïde et le triquetrum dans une position de verrouillage [69,73,86,110–113].

III. 3. 2. Biomécanique du carpe en compression axiale

Lorsque le poignet est soumis à une contrainte axiale (force appliquée dans l'axe du 3ème métacarpien sur un poignet en position neutre), on constate une pronation et une migration proximale de la rangée distale du carpe [69,93]. En raison de ce déplacement proximal, la rangée distale du carpe va exercer une force de compression sur la rangée proximale à travers l'articulation médio carpienne. On constate alors une flexion palmaire du scaphoïde sous l'influence du trapèze et du trapézoïde; il s'horizontalise pour diminuer l'espace qu'il occupe dans la plan frontal. Le scaphoïde va également pivoter autour du ligament radio-scapho-capital en pronation. En raison du déplacement dorsal de l'hamatum, le triquetrum va glisser sur la pente hamatale hélicoïdale pour prendre une position basse, distale et palmaire en extension [101]. Cependant le mouvement de flexion du scaphoïde transmis au lunatum va prédominer sur le mouvement d'extension du triquetrum et l'ensemble de la rangée proximale va se mobiliser en flexion [93].

III. 3. 3. Mouvements de flexion et extension dans la plan sagittal

Les articulations radio carpienne et médio carpienne participent de manière synchrone aux mouvements de flexion/extension, se mobilisant en flexion lors de la flexion du poignet et en extension lors de l'extension de poignet. En flexion de poignet, la mobilité est prédominante dans l'articulation radio carpienne (au niveau de l'articulation radio-lunaire essentiellement) qui présente une mobilité en flexion de 50° et la médio carpienne de 35° (Figures 15 et 16). Concernant l'extension, on assiste à

l'inverse: la radio carpienne présente une extension de 35° et la médio carpienne une extension de 50° [58,109,114–116].

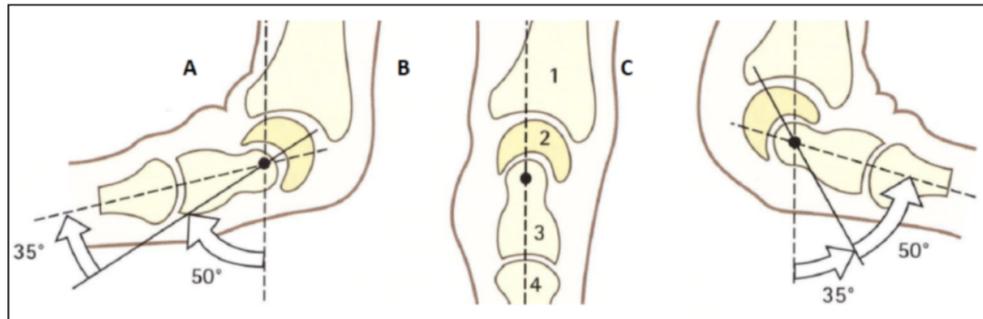


Figure 15. Arcs de mobilité des articulations radio carpienne et médio carpienne dans le plan sagittal
 A: mobilités en flexion de poignet B: position neutre C: mobilité en extension de poignet
 représentation francophone (haut de l'image=proximal, bas=distal)

In [A. I. Kapandji et R. Tubiana, Anatomie fonctionnelle 1: membres supérieurs. Physiologie de l'appareil moteur, 6 ème édition, Paris, Maloine, 2005]

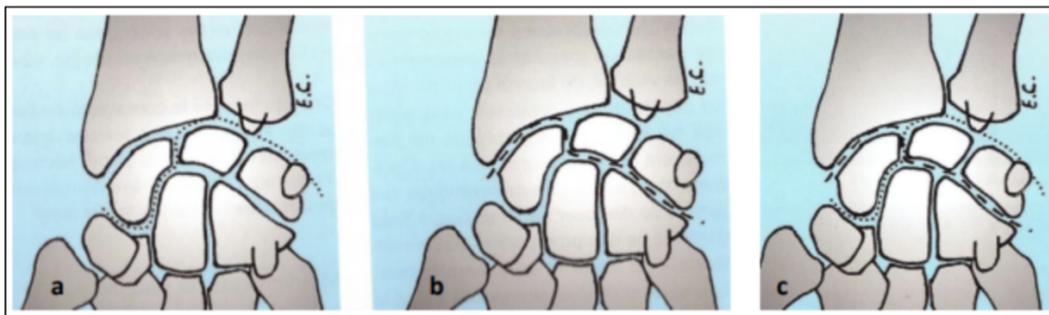


Figure 16. Arcs de mobilité du poignet dans le plan frontal:

A: arc de flexion, B: arc d'extension, C: les deux axes se rencontrent au niveau de l'interligne scapho-lunaire, ce qui en fait une zone de fragilité.

Présentation francophone (haut de l'image=proximal, bas=distal)

In [E. J. Camus, F. Millot, J. Lariviere, S. Raoult, kinematics of the wrist using 2D and 3D analysis: biomechanical and clinical deduction, Surgical and Radiologic Anatomy, p. 399-410, 2004]

III. 3. 4. Mouvements d'inclinaison radiale et d'inclinaison ulnaire dans le plan frontal

Lors des mouvements d'inclinaison ulnaire et radiale, le carpe dans son ensemble se mobilise autour d'un axe passant par le centre de la tête du capitatum (figure 17). En 1978, Youm et al. [117] ont montré que la hauteur carpienne (distance entre la base du troisième métacarpien et l'articulation radio carpienne passant par la tête du capitatum) doit demeurer inchangée à tout moment par rapport à la position neutre. Ainsi les mouvements dans les rangées vont permettre au carpe de s'adapter aux changements de position du poignet pour conserver cette hauteur [75,118].

Lors de l'inclinaison radiale, le trapèze et le trapézoïde exercent une force dirigée en palmaire sur le pôle distal du scaphoïde, ce qui va entraîner sa flexion. Combiné à la translation palmaire du capitatum sur le lunatum, on assiste à une flexion de la première rangée du carpe. La rangée proximale du carpe se place en flexion et en translation radiale [101,110]. On assiste ainsi à une diminution de la hauteur du versant radial du carpe et une augmentation du versant ulnaire alors que la hauteur du carpe, telle que décrite par Youm, ne se modifie pas.

En inclinaison ulnaire, on assiste à l'inverse à une diminution de hauteur du versant ulnaire du carpe et un allongement de la distance entre le trapèze et la styloïde radiale au niveau du bord radial. Ainsi l'hamatum va projeter une force dirigée dorsalement sur le triquétrum qui en contact avec la surface articulaire hélicoïdale de l'hamatum se place en position basse en extension via un mécanisme de «vissage», afin d'occuper le minimum d'espace. Pour combler l'espace sur le versant radial, le

scaphoïde se place en extension via les ligaments radio-scapho-capital et scapho-trapézien. Enfin la tête du capitatum se translate en arrière, accentuant l'extension du lunatum. On assiste donc à une extension de la rangée proximale du carpe.

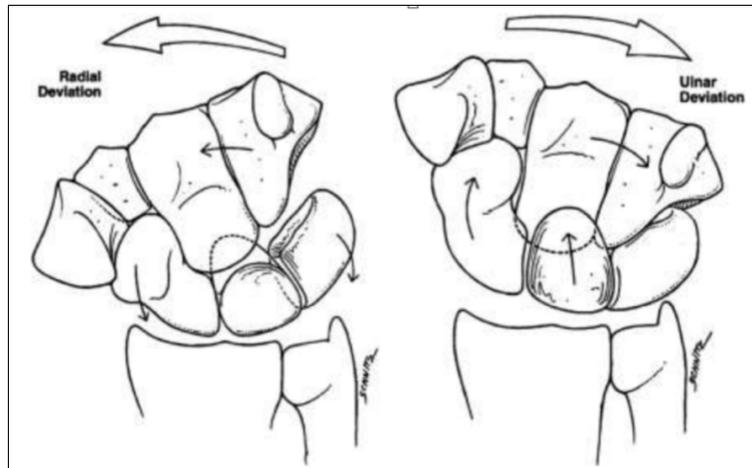


Figure 17. Représentation de la cinématique du carpe:

- Illustration de gauche: en inclinaison radiale
- Illustration de droite: en inclinaison ulnaire

Présentation anglophone (haut de l'image=distal, bas=proximal)

In [Kitay A., Wolfe SW, Scapholunate instability: current concept in diagnosis and management, J Hand Surg Am, 2012 Oct;37(10)2175-96]

III. 4. CONCLUSION

Ainsi en tant qu'unité, la rangée proximale du carpe est une rangée mobile, extrêmement déformable et obéissante. Les mouvements élémentaires des os qui la composent permettent à tout moment d'adapter leur position en réponse au mouvement des os adjacents et des contraintes imposées par les articulations adjacentes et les ligaments. L'objectif est de combler l'espace utile décrit par kapandji [101] et d'améliorer la congruence des interlignes radio et médio carpien [58] en optimisant la

surface de contact [49,116]. La stabilité de cette rangée est un équilibre délicat qui dépend en grande majorité des ligaments interosseux et des ligaments stabilisateurs secondaires du poignet. Cet équilibre peut être mis en danger par une rupture ligamentaire ou une modification anatomique osseuse.

En somme, les mouvements entre les rangées sont des mouvements efficaces permettant la mobilisation de la main, et les mouvements intra rangées sont des mouvements d'adaptation permettant aux rangées de se déformer pour adapter leur forme à la cinétique du poignet et améliorer la congruence des interlignes radio carpien et médio carpien.

IV. L'INSTABILITÉ SCAPHO-LUNAIRE

IV. 1. L'INSTABILITÉ DU CARPE, GÉNÉRALITÉS

La notion d'instabilité du carpe a été introduite pour la première fois en 1943 par Gilford puis reprise par Linscheid et Dobyns en 1972. Elle correspond à une perte des rapports anatomiques classiques entre les os du carpe avec pour conséquence une modification de la biomécanique du carpe [3].

Les instabilités du carpe ont été classées par la Mayo Clinic en différents tableaux [119–121]:

- L'instabilité dissociative
- L'instabilité non dissociative
- L'instabilité complexe
- L'instabilité adaptative

Elles peuvent être liées à une fracture, une lésion ligamentaire voire les deux combinés excepté pour l'instabilité adaptative.

IV. 1. 1. L'instabilité dissociative

L'instabilité dissociative correspond à une instabilité entre deux os d'une même rangée du carpe par lésion osseuse ou ligamentaire. Soit dans la première rangée, en cas de pseudarthrose du scaphoïde, de lésions du ligament scapho-lunaire ou

luno-triquétral; soit dans la rangée distale du carpe bien que ce type d'instabilité soit rare.

IV. 1. 2. L'instabilité non dissociative

L'instabilité non dissociative est présente lorsque l'instabilité se situe entre deux rangées du carpe ou au niveau de l'articulation radio carpienne, on parle d'instabilité médio carpienne ou radio carpienne.

IV. 1. 3. L'instabilité complexe

L'instabilité complexe correspond à la combinaison d'un tableau d'instabilité dissociative et d'un tableau d'instabilité non dissociative. L'exemple type est la luxation péri lunaire du carpe qui associe des lésions ligamentaires et une perte de l'anatomie normale au sein de la rangée proximale et au niveau des articulations radio carpienne et médio carpienne.

IV. 1. 4. L'instabilité adaptative

L'instabilité adaptative est liée à des anomalies anatomiques extra carpiennes en particulier au niveau du radius. Par exemple, elle peut être présente dans des contextes de cal vicieux du radius, ou de déformation liée à une maladie de Madelung [122].

L'instabilité du carpe la plus fréquente est l'instabilité dissociative scapho-lunaire.

IV. 2. PHYSIOPATHOLOGIE DE L'INSTABILITÉ SCAPHO-LUNAIRE

L'ISL est liée à une lésion du LSL associée à des lésions des stabilisateurs secondaires du couple scapho-lunaire. Le schéma qui mène aux modifications anatomiques de l'ISL sont connus et décrits ci dessous (figure 18).

Pour rappel, le triquétrum et le scaphoïde ont des tendances naturelles opposées: le scaphoïde en flexion et le triquétrum en extension avec le lunatum qui se retrouve soumis à ces contraintes opposées. Il s'agit d'un équilibre dynamique délicat qui peut être mis en danger par une rupture ligamentaire ou une modification anatomique osseuse.

Après rupture du LSL, le lunatum, libéré des contraintes imposées par le LSL, ne suit plus le scaphoïde et bascule en extension entraîné par le triquetrum via le ligament triquétro-lunaire encore compétent. Le scaphoïde quant à lui va suivre sa tendance naturelle et se positionner en flexion. L'extension excessive du lunatum par rapport au scaphoïde a été décrit sous le terme d'instabilité dorsale du segment intercalaire ou DISI par Lindscheid en 1972 [3]. D'autre part, en particulier lors de compression axiale du carpe, la tête du capitatum va présenter une translation proximale vers l'espace scapho-lunaire entraînant un élargissement de ce dernier, appelé diastasis scapho-lunaire [101] et entraînant une perte de hauteur du carpe. Sans attache au lunatum, le scaphoïde va pivoter autour du ligament radio-capital et présenter une subluxation dorsale en débordant de la marge radiale postérieure [112,123] (figure 19). Le scaphoïde se mobilise alors avec la rangée distale du carpe grâce aux ligaments qui

l'y relieit alors que le lunatum et le triquétrum se mobilisent conjointement comme une rangée [14,118].

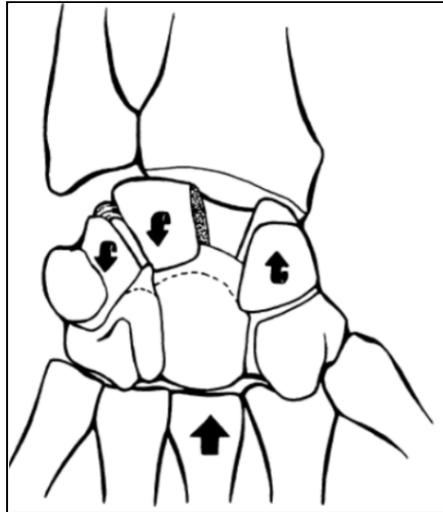


Figure 18. Modifications de la biomécanique du carpe lors de l'instabilité scapho-lunaire:

- flexion du scaphoïde,
- extension du triquétrum suivi par le lunatum,
- aggravation du diastasis scapholunaire par la tête du capitatum.

Présentation francophone (haut de l'image=proximal, bas=distal)

In [Wolfe SW, Scapholunate instability, Journal of the American Society for Surgery of the Hand, 2001 Feb 1;1(1);45-60]

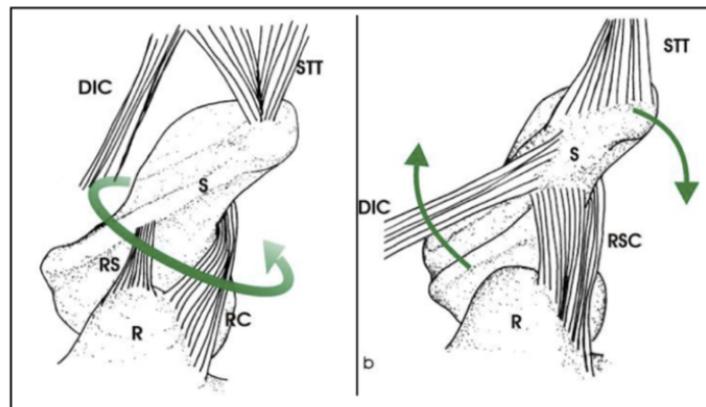


Figure 19. Illustration de la flexion et rotation du scaphoïde dans le contexte de lésion scapho-lunaire
In [Walsh JJ, Berger RA, Cooney WP, Current Status of scapholunate interosseous ligament injuries. J Am Acad Orthop Surg, 2002 Jan;10(1);32-42]

Ces modifications anatomiques n'apparaissent pas immédiatement. En effet, après rupture du LSL, les ligaments stabilisateurs secondaires permettent initialement de maintenir l'anatomie normale du carpe, et c'est avec le temps que ces derniers s'affaiblissent. Ainsi des lésions supplémentaires sur les ligaments stabilisateurs secondaires sont nécessaires à l'apparition de ces anomalies de position du scaphoïde et du lunatum [6,13,43,80–82,124–126].

IV. 3. ÉVOLUTION NATURELLE

La cinétique du carpe étant totalement modifiée par les lésions scapho-lunaires, les rapports entre les différents os du carpe se modifient et provoquent à terme des lésions dégénératives secondaires. Une classification de ces lésions a été définie par Watson en 1984 sous le terme de *SLAC Wrist (scapholunate advanced collapse)* [7] défini en 4 stades (figure 20):

- stade 1: arthrose stylo-scaphoïdienne isolée
- Stade 2: extension à l'interligne radio-scaphoïdien
- Stade 3: extension à l'interligne médio carpien avec arthrose luno-capitale
- Stade 4: arthrose pancarpienne

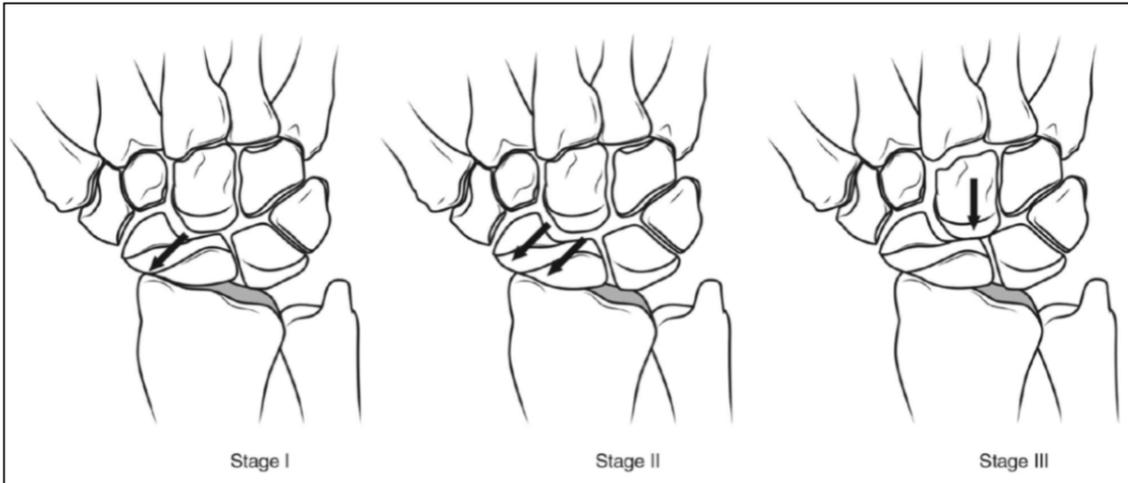


Figure 20. Les SLAC lésions:

- *Stade 1: arthrose stylo scaphoïdienne*
 - *Stade 2: extension à l'ensemble de l'interligne radio scaphoïdien*
 - *Stade 3: extension à l'interligne médio carpien avec arthrose luno capitale*
- Présentation anglophone (haut de l'image=distal, bas=proximal)*

In [White NJ, RollickNC, Injuries of the Scapholunate Interosseous Ligament: An update. J Am Acad Orthop Surg, 2015 Nov;23(11):691-703]

Il s'agit de la cause la plus fréquente d'arthrose du poignet (55% des tableaux d'arthroses au poignet). L'ISL traumatique est la principale cause de *SLAC wrist* mais des tableaux de *SLAC wrist* sont aussi retrouvés dans le cadre de pseudo goutte [127].

L'évolution arthrogène de l'ISL s'explique par les changements anatomiques du carpe. L'articulation radio-scaphoïdienne présente une anatomie ellipsoïde. Lors d'une ISL, la subluxation rotatoire du scaphoïde va entraîner une modification de la disposition des deux ellipses que sont la facette radiale du scaphoïde et la fossette scaphoïdienne du radius. On assiste à un excès de charge sur le versant dorsal et palmaire de l'articulation radio-scaphoïdienne. A l'image de deux cuillères parallèles positionnées l'une sur l'autre (figure 21), la mobilisation se fait sur les surfaces ellipsoïdes, cependant si on modifie l'axe d'une des cuillères et que celle ci devient perpendiculaire à l'autre, la mobilisation des deux cuillères entre elles ne sera plus

harmonieuse et entraînera des zones de frottements [31,128,129]. Au contraire, grâce à son anatomie, l'articulation radio-lunaire qui est une articulation sphérique, est globalement préservée dans les *SLAC wrist*. Dans les suites, l'extension de l'arthrose à l'interligne médio carpien au niveau luno-capital est liée au mouvement d'extension du lunatum associé au déplacement proximal du capitatum dans l'espace scapho-lunaire, qui engendrent des contraintes importantes sur l'articulation luno-capitale [17,125].

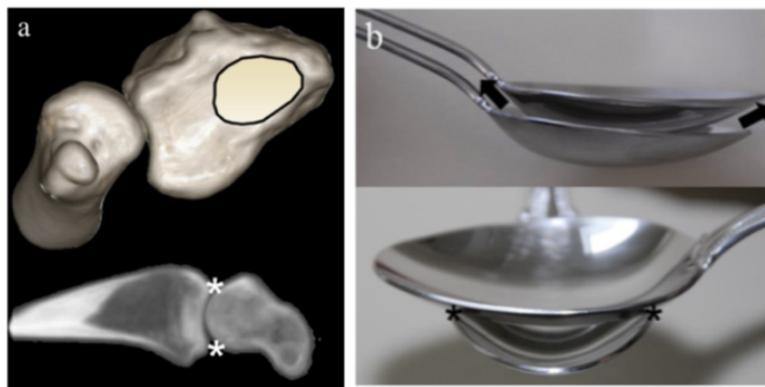


Figure 21. Illustration schématique de la physiopathologie des SLAC lésions à l'aide de deux cuillères: lorsque l'axe d'une des cuillères est modifié par rapport à l'autre, on observe une zone de contact anormales entre les berges des cuillères. Applicable à l'interligne radio-scaphoïdien: la subluxation postérieure du scaphoïde entraîne un contact anormal entre les marges antérieure et postérieure du radius et du scaphoïde.

In [Burgess RC, The effect of rotatory subluxation of the scaphoid on radio-scaphoid contact, J Hand Surg Am, 1987 Sep;12(5 Pt 1):771]

Bien que le schéma de progression de ces lésions soit bien connu, les délais d'apparition de l'arthrose ne peuvent pas être prédits [19]. De plus aucune certitude n'existe sur le fait que toute instabilité scapho-lunaire mène à des SLAC lésions [127,130].

IV. 4. DIAGNOSTIC

IV. 4. 1. Diagnostic clinique

La lésion du LSL survient dans la majorité des cas après une chute ou une charge sur le poignet en hyperextension et inclinaison radiale comme l'a décrit Mayfield en 1984 [131]. En effet dans cette position, le capitatum est dirigé entre le scaphoïde et le lunatum; le scaphoïde est forcé à se diriger radialement et dorsalement encore attaché à la rangée distale du carpe et le lunatum est dirigé en ulnaire et palmaire [14,111]. Elle peut être associée à une fracture du radius distal (plus volontiers de type intra-articulaire, particulièrement de la styloïde radiale en regard de l'espace scapho-lunaire [132,133] jusqu'à 30% des cas [134]), ou découler d'une luxation périlunaire du carpe.

Il est admis que la rupture du LSL débute sur son versant palmaire et progresse dans la partie membraneuse jusqu'à la portion dorsale [14]. Il est important de noter que ce schéma de progression peut se faire d'un coup lors d'un traumatisme à haute énergie, ou progressivement à partir d'un traumatisme initial.

IV. 4. 1. 1. Signes fonctionnels

Les patients, des hommes dans leur grande majorité, se présentent habituellement à distance d'un traumatisme connu ou sans pouvoir dater avec précision le traumatisme initial [3,135]. Les plaintes les plus fréquentes sont :

- une douleur dorsale du poignet en appui ou à l'effort ;
- un œdème dorsal ;
- une diminution de la mobilité et de la force ;

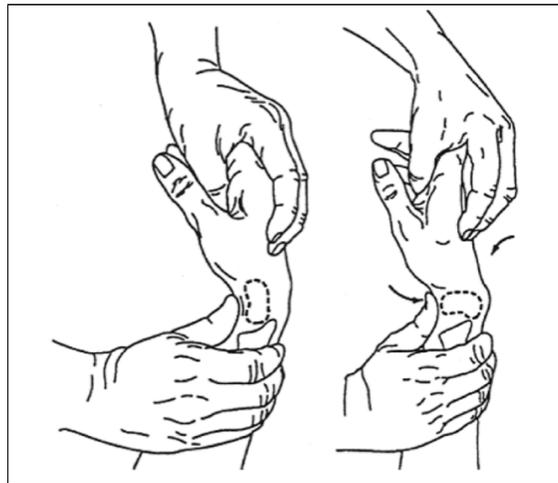
- une sensation de ressaut ou de lâchage du poignet

IV. 4. 1. 2. Examen clinique

L'examen clinique est bilatéral et comparatif. Les signes cliniques orientant vers une instabilité scapho-lunaire sont les suivants:

- une douleur à la palpation de la portion dorsale du ligament scapho-lunaire. Afin de repérer la zone correspondant au ligament scapho-lunaire il faut se placer 1 cm au-dessus du tubercule de Lister sur la face dorsale du poignet positionné en flexion [125].
- Un test de Watson positif (figure 22): Watson décrit en 1988 [136,137] une manœuvre connue sous le nom de « *Scaphoid shift test* » ou test de Watson pouvant permettre de détecter cliniquement une instabilité scapho-lunaire. Pour réaliser la manoeuvre, il faut installer le patient coude sur table, puis tout en réalisant une pression sur le tubercule du scaphoïde avec son pouce que l'on repère à la palpation au niveau de la base de l'éminence thénar; l'examineur fait passer le poignet d'une position en inclinaison ulnaire à une position en inclinaison radiale. Normalement au cours de cette manoeuvre, le scaphoïde se fléchit et se place en pronation tout en restant dans la fossette scaphoïdienne. Dans un contexte de lésion scapho-lunaire, lors du passage de la position d'inclinaison ulnaire à l'inclinaison radiale, le scaphoïde bloqué par le pouce de l'examineur ne peut pas fléchir et se subluxer alors en arrière de la marge radiale postérieure. Le relâchement du pouce permet au scaphoïde de repasser cette berge pour se réduire avec un claquement audible. Le patient peut alors se

plaindre d'une douleur en regard de l'interligne scapho-lunaire, un ressaut peut également être obtenu correspondant au scaphoïde subluxé dorsalement qui se réduit au niveau de la fossette radiale. Toutefois le test de Watson n'est pas spécifique, on estime que ce test est positif chez 30% de la population en dehors de toute lésion ligamentaire [10,120,138,139].



*Figure 22. Test de Watson: Lors du passage de la position d'inclinaison ulnaire à l'inclinaison radiale avec une pression palmaire sur la base de scaphoïde, le scaphoïde va se subluxer en arrière de la marge postérieure du radius en cas de lésion scapho-lunaire.
In [Lésions et instabilités scapho-lunaires, les comprendre et les traiter, M. Papaiozou, Rev Med Suisse 2015, 11:1251-6]*

- un ballotement scapho-lunaire antéropostérieur. Pour rechercher ce signe clinique, le patient doit placer sa main en pronation vers l'examineur, l'examineur stabilise d'une main le lunatum entre son pouce et son index, et de l'autre le scaphoïde de la même manière, il imprime alors un mouvement alternatif entre les deux mains dans le sens antéropostérieur. Cette manoeuvre

peut mettre en évidence une mobilité anormale du scaphoïde de palmaire en dorsal associée à des douleurs en cas de lésion scapho-lunaire [110].

Il est également important comme devant tout poignet douloureux d'évaluer les mobilités du patient dans tous les plans, ainsi que la force à l'aide d'un dynamomètre hydraulique de type Jamar.

IV. 4. 2. Examens complémentaires

Le diagnostic d'ISL ne peut être qu'évoqué devant l'examen clinique, aucun test ou signe clinique n'est spécifique de l'ISL. Des examens complémentaires sont nécessaires pour confirmer la lésion.

IV. 4. 2. 1. Radiographies simples

La radiographie est l'examen d'imagerie de base pour le bilan d'un poignet douloureux avec des clichés de poignet de face et de profil.

Sur une radiographie de face il convient tout d'abord de vérifier:

- L'harmonie globale du carpe en traçant les 3 arcs de Gilula [140]. Sur un poignet sain, ces trois arcs dessinent des courbes harmonieuses; leur rupture signe l'instabilité du carpe (figure 23).

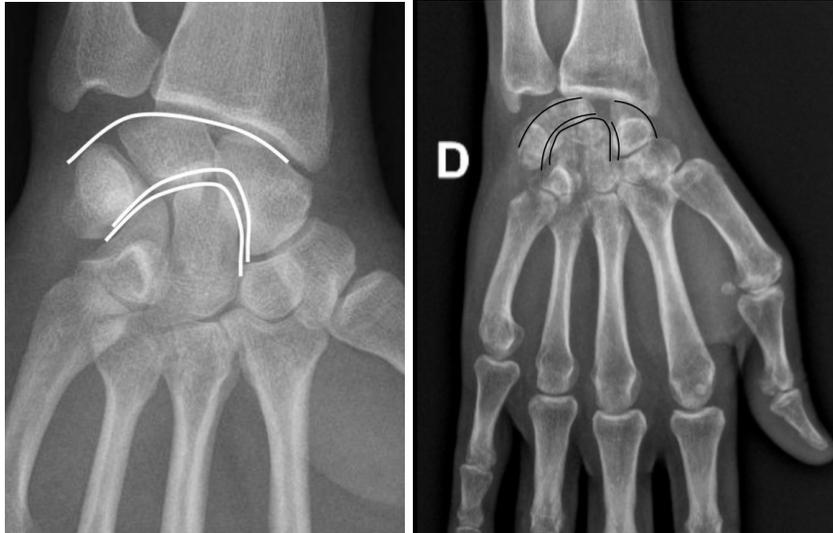


Figure 23. Les arcs de Gilula:

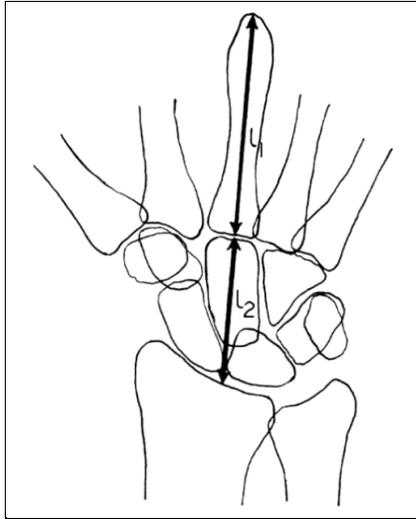
- *Premier arc: unit les faces proximales des os de la rangée proximale*
- *Deuxième arc: unit la face distale des os de la rangée proximale*
- *Troisième arc: unit les faces proximales du capitatum et de l'hamatum*

Radiographie de gauche: poignet normal

Radiographie de droite: patient présentant une instabilité scapho-lunaire

Présentation francophone (haut de l'image=proximal, bas=distal)

- l'index de hauteur du carpe selon Youm (figure 24). La valeur de cet indice correspond à la hauteur du carpe mesuré du radius à la base du troisième métacarpien sur la hauteur du troisième métacarpien. Il doit être environ égal à 0,5 ou 0,54. Cette valeur est supposée constante, ainsi lorsque celle-ci est inférieure à 0,5, elle met en évidence un raccourcissement de la hauteur du carpe [141].
- Les interlignes carpiens doivent être de largeur superposable et ne pas dépasser 2mm [10,116].



- Figure 24. Calcul de l'index de hauteur carpienne: $L1/L2$;

$L1$ =longueur du troisième métacarpien, $L2$ =longueur entre le radius et la base du troisième métacarpien.

- Il doit être compris entre 0,51 et 0,57.

Présentation anglophone (haut de l'image=distal, bas=proximal)

In [Youm Y, McMurtry RY, Flatt AE, Gillespie TE, Kinematics of the wrist: I. An experimental study of radioulnar deviation and flexion-extension, Journal of Bone and Joint Surgery, 1978]

Les signes permettant d'évoquer le diagnostic d'ISL sur des radiographies de poignet de face [2,142,143] sont (figure 25):

- Le diastasis scapho-lunaire: la mesure de l'espace entre le scaphoïde et le lunatum est considérée comme suspecte d'une lésion scapho-lunaire au delà de 2-3 mm ou plus.
- Le signe de l'anneau: le scaphoïde ayant basculé en flexion et donc horizontalisé, semble raccourci; on observe une projection du tubercule distal du scaphoïde sur son isthme qui donne une image d'anneau.
- La bascule dorsale du lunatum qui se positionne en extension; au niveau de la radiographie on peut observer sa corne antérieure large et carrée visible



Figure 25. Signes radiologiques de l'instabilité scapholunaire sur une radiographie de face:

- Ovale noir: flexion du scaphoïde, signe de l'anneau
- Trait rouge: extension du lunatum avec sa corne antérieure visible
- Etoile bleue: diastasis scapho-lunaire

Présentation francophone (haut de l'image=proximal, bas=distal)

Sur la radiographie de profil, il faut rechercher une perte de l'alignement entre le radius, le capitatum et le troisième métacarpien en faveur d'un défaut d'alignement des os du carpe.

On peut observer les signes suivants [110] en faveur d'une instabilité scapho-lunaire sur les clichés de profil (figure 26):

- Le DISI (*dorsal intercalated segment instability*) qui correspond à la bascule dorsale en extension du lunatum. Il peut être mis en évidence en évaluant les angles scapho-lunaires et radio-lunaires:
 - L'angle radio-lunaire: Il s'agit de l'angle formé par l'intersection des axes longitudinaux du radius et du lunatum, il varie entre -15° et $+15^{\circ}$. Le DISI correspond à un angle radio-lunaire supérieur à 15° .
 - L'angle scapho-lunaire: formé par l'intersection de la tangente aux deux convexités polaires proximale et distale du scaphoïde et de l'axe longitudinal du lunatum (représenté par la perpendiculaire à la tangente passant par les cornes antérieure et postérieure du lunatum). Cet angle a une valeur comprise entre 30° et 60° . Au delà de 70° , il confirme un DISI qui correspond une bascule dorsale du lunatum. Lorsque cet angle est inférieur à 30° on parle de VISI (*volar intercalated segment instability*) qui correspond à une bascule palmaire du lunatum que l'on retrouve dans l'instabilité luno-triquetrale [10,111,123,143].
- La subluxation dorsale du scaphoïde: mise en évidence par un débord du scaphoïde par rapport à la marge dorsale du radius [144,145]. On peut le mettre en évidence en traçant la tangente à l'axe longitudinal dorsal de la diaphyse radiale.
- Le calcul de l'angle radio-scaphoïdien permet de mettre en évidence une anomalie d'alignement du scaphoïde. Il correspond à l'angle entre l'axe longitudinal du radius et l'axe longitudinal du scaphoïde, normalement compris

entre 30 et 60°. Lorsque qu'il est supérieur à 60° il est en faveur d'une horizontalisation du scaphoïde.



Figure 26. Signes radiologiques de l'instabilité scapho-lunaire sur une radiographie de poignet de profil:

- 1: Angle scapho-lunaire $>70^\circ$ (scaphoïde en blanc et lunatum en noir)
 - 2: angle radio-lunaire $>15^\circ$
 - 3: angle radio-scaphoïdien $>70^\circ$
- Perte de l'alignement radius-capitatum-M3 (ligne rouge en pointillés)
- Débord dorsal du scaphoïde en faveur de la subluxation dorsale du scaphoïde (ligne blanche)
Présentation francophone (haut de l'image=proximal, bas=distal)

Diastasis scapho-lunaire	Subluxation dorsale et horizontalisation du scaphoïde	DISI
Espace scapho-lunaire >3mm	Angle radio-scaphoïdien >60° Débord dorsal du scaphoïde	Angle scapho-lunaire >70° Angle radio-lunaire >15°

Tableau 1. Définitions radiographiques des anomalies d'alignement du carpe de l'instabilité scapho-lunaire

Il faut cependant noter qu'il existe des pseudo-dissociations scapho-lunaires congénitales avec présence de diastasis et de signes de DISI sur les radiographies. Il est donc primordial de réaliser des clichés bilatéraux afin de vérifier l'absence de déformations bilatérales [146]. D'après Athlani *et al.* [135], le seul critère radiographique pathognomonique d'une ISL est la subluxation dorsale du scaphoïde. De récents travaux d'imageries soutiennent cette théorie notamment les travaux de Vitello et Feipel [147]. Afin de différencier un DISI congénital d'un DISI lié à une ISL, il est important de préciser que dans un contexte d'ISL, le DISI est associé à une horizontalisation et un débord dorsal du scaphoïde ce qui n'est pas le cas dans le DISI congénital. Un critère radiologique a récemment été décrit pour le juger, décrit sous le nom d'angle radio-scaphoïdien postérieur que l'on peut calculer à partir d'une coupe sagittale du poignet sur scanner. Il s'agit de l'angle formé par le croisement de la ligne passant par les points les plus antérieurs et postérieurs de la surface articulaire radiale et la ligne passant par le point le plus postérieur du scaphoïde vers le point postérieur de la surface articulaire radiale [145,148] (figure 27).



Figure 27. Définition de l'angle radio scaphoïdien postérieur, in [Athlani, Radiological evaluation of scapholunate intercarpal ligamentoplasty for chronic scapholunate dissociation in cadavers 2017]

IV. 4. 2. 2. Radiographies dynamiques

En cas de suspicion clinique sans signes radiologiques sur les radiographies de face et de profil du poignet, il est possible de réaliser des clichés dynamiques sur lesquels les signes radiologiques peuvent se dévoiler. Il s'agit des clichés suivants (figure 28):

- poing serré ou « *clenched Pencil view* »: permet de mettre en évidence un diastasis scapho-lunaire
- Inclinaison ulnaire et radiale de face avec une accentuation du diastasis et de l'horizontalisation du scaphoïde en inclinaison ulnaire
- Flexion complète de poignet de profil: peut mettre en évidence la subluxation dorsale du scaphoïde (le pôle proximal apparaît en arrière de la marge postérieure du radius)



*Figure 28. Radiographie bilatérale de poignet en position poing fermé: diastasis scapho-lunaire sur le poignet droit suspect d'une lésion scapho-lunaire, absent sur le poignet gauche
Présentation francophone (haut de l'image=proximal, bas=distal)
In Skeletal Radiology 2017, understanding carpal instability: a radiographic perspective, Kani*

À un stade précoce, l'ensemble des radiographies statiques et dynamiques peut être normal.

En cas de forte suspicion clinique, des examens complémentaires plus poussés doivent être réalisés notamment l'arthroscanner, l'imagerie par résonance magnétique (IRM) ou l'arthroscopie diagnostique.

IV. 4. 2. 3. Arthroscanner

L'arthroscanner consiste en la réalisation d'acquisition scanner après injection de produit de contraste dans 3 compartiments:

- L'articulation médio carpienne
- L'articulation radio carpienne
- L'articulation radio-ulnaire distale

Il permet de mettre en évidence des lésions ligamentaires (fuite de produit de contraste d'un compartiment à un autre) ou la présence d'arthrose (disparition du cartilage représenté par l'absence d'opacité entre l'os et l'espace intra articulaire) (figure 29). Il est admis que l'opacification médio carpienne est la plus utile pour mettre en évidence une lésion du LSL et la radio carpienne pour les lésions cartilagineuses. Cet examen présente une sensibilité estimée en moyenne à 85% et une spécificité à 79% selon les études, ce qui en fait un bon examen diagnostique [10,149,150].

Cependant il s'agit d'un examen douloureux de par l'injection de produit de contraste qui peut être mal tolérée par le patient. Il peut également être à l'origine de faux négatifs lorsque du tissu cicatriciel a remplacé la portion dorsale du ligament scapho-lunaire [63].



*Figure 29. Coupe coronale d'arthroscanner mettant en évidence une fuite de produit de contraste entre le compartiment radio carpien et le compartiment médio carpien au niveau l'interligne scapho-lunaire (flèche rouge) signant la rupture du ligament scapho-lunaire
Présentation francophone (haut de l'image=proximal, bas=distal)*

IV. 4. 2. 4. Imagerie par résonance magnétique (IRM)

L'IRM est un examen d'imagerie en plein essor dans le diagnostic de lésion ligamentaire (figure 30). Le principal avantage de cette technique est l'absence d'irradiation pour le patient.

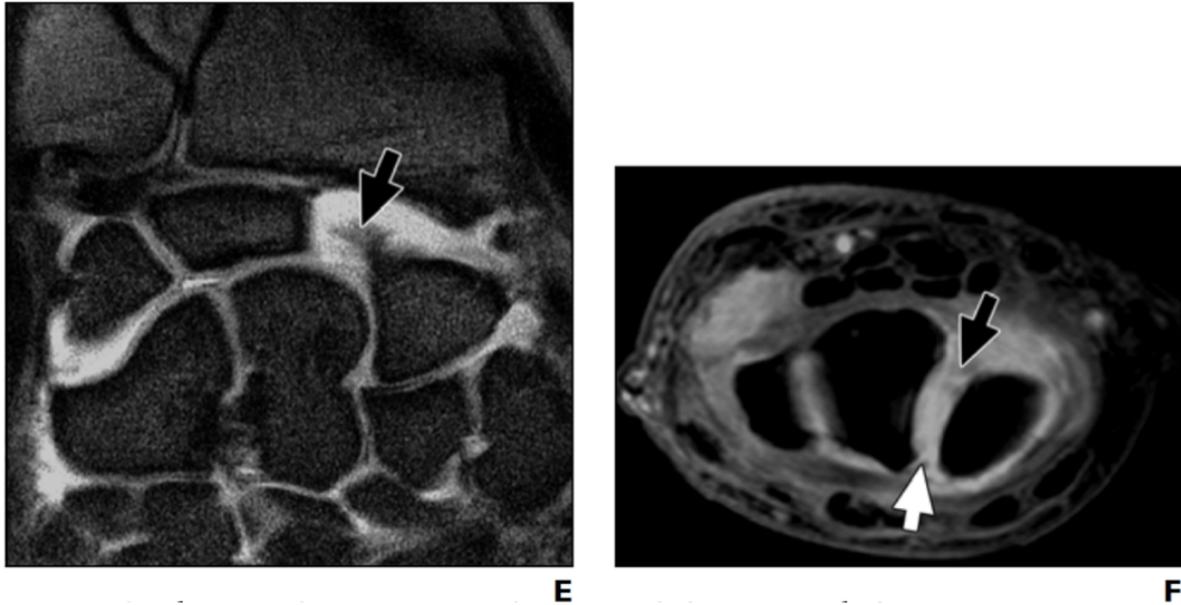


Figure 30. Coupes d'athroIRM:

E: Coupe coronale, séquence T1 fat sat, lésion de la portion palmaire du ligament scapho-lunaire (flèche noire)

F: Coupe transversale, séquence T1, lésion de la portion dorsale du ligament scapho-lunaire (flèche blanche) et de la portion palmaire (flèche noire)

Présentation francophone (haut de l'image=proximal, bas=distal)

In [Moser, wrist ligament tears: Evaluation of MRI and Combined MDCT and MR Arthrography, 2007]

Cependant l'interprétation de ces IRM est difficile pour plusieurs raisons: l'interprétation des changements de signal est difficile pour ces ligaments dont la structure n'est pas la même dans toutes les portions et leur trajet oblique oblige à réaliser des coupes ultra fines. Ces difficultés font de l'IRM un examen opérateur dépendant [6,40]. Ainsi une IRM normale ne permet pas d'exclure une lésion du LSL [151–153].

Des études récentes ont pu montrer que l'IRM 1.5T présente une sensibilité de 59% selon les études et une spécificité de 32% alors que l'IRM 3T une sensibilité de 70% dans les diagnostics de lésions scapho-lunaires et une spécificité de 100%, ce dernier permet une amélioration des résultats dans le diagnostic des lésions scapho-lunaires [111,154,155].

L'arthroscanner se place donc comme un examen plus performant dans le diagnostic des lésions scapho-lunaires [152]. Cependant ces examens sont incapables de faire la corrélation entre la présence d'une lésion du LSL et le degré d'instabilité qu'elle entraîne [156].

IV. 4. 2. 5. Arthroscopie

Considérée comme le "*gold standard*" du diagnostic de l'ISL dans la littérature [157,158], l'arthroscopie permet d'inspecter directement le ligament (figure 31). Il convient d'examiner les interlignes médio carpien et radio carpien. Elle permet également de vérifier l'absence d'arthrose ou de détecter les lésions chondrales à un stade plus précoce. Elle peut également avoir un rôle diagnostique et thérapeutique à la fois.

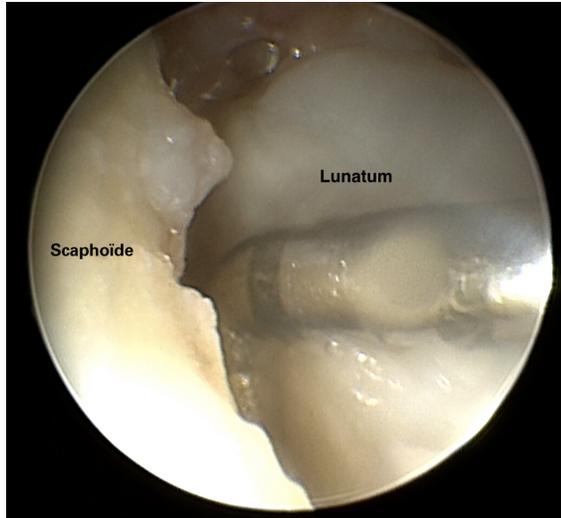


Figure 31. Image arthroscopique d'une rupture du ligament scapho-lunaire depuis l'articulation radiocarpienne. Le palpateur peut être passé dans l'espace scapho-lunaire sans difficulté

La classification de Geissler élaborée à partir des lésions observées en arthroscopie permet de classer les différents stades lésionnels [159]

- grade I: aspect hémorragique du LSL en radiocarpien sans instabilité
- Grade II: incongruence SL ou marche d'escalier en médio carpien, gap au testing de la largeur du crochet maximum, étirement du LSL
- Grade III: incongruence SL en médio et radio carpien avec augmentation du gap à la rotation axiale du crochet palpateur, rupture partielle du LSL.
- Grade IV: passage complet de l'arthroscope de 1.6mm dans l'interligne SL de l'articulation radio carpienne vers la médio carpienne. Rupture complète du LSL

Cependant cette classification ne permet pas de distinguer la localisation de la lésion, c'est pourquoi l'EWAS (*European wrist arthroscopy society*) a établi une autre classification permettant de prendre en compte le site de rupture du ligament [160]:

- I: pas de passage possible du crochet
- II: lésion de la portion palmaire du ligament SL, passage de la pointe du crochet sans ouverture de l'espace en radiocarpien.
- IIIA: lésion section palmaire + diastasis palmaire au testing dynamique
- IIIB: dorsale et palmaire SLIL diastasis dorsal au testing
- IIIC: lésion complète, ouverture complète de l'espace SL réductible au retrait du crochet
- IV: SL gap permettant le passage complet du crochet sans anomalies radiographiques.
- V: diastasis SL associé à des anomalies radiographiques

La classification de Dautel est également couramment utilisée, elle s'attarde plus sur la notion d'instabilité au niveau scapho-lunaire qu'aux lésions du ligament lui même [156] (figure 32):

- Stade 0: le crochet ne peut pas être passé dans l'interligne scapho-lunaire depuis le compartiment médio carpien. Le ligament scapho-lunaire est intact.
- Stade 1: passage de la pointe du crochet palpateur dans l'espace SL en médio carpien
- Stade 2: la torsion axiale du palpateur dans l'espace SL crée un diastasis.

- Stade 3: passage de l'optique dans l'espace SL de médio à radio carpien.

Cette classification permet de classer les ISL en stade de gravité croissant.

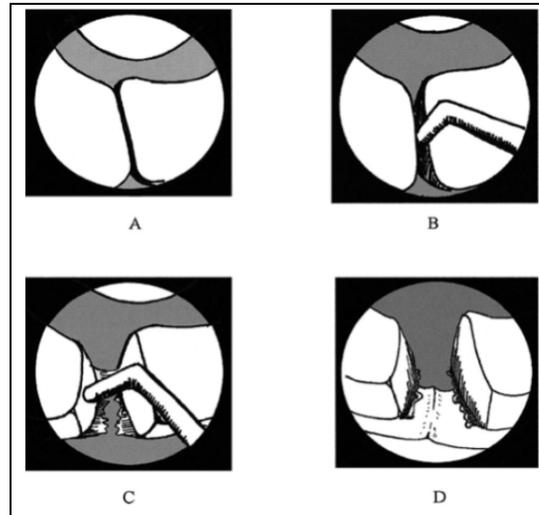


Figure 32. Classification arthroscopique de Dautel

A: Stade 0, pas de passage possible du crochet

B: Stade 1, la pointe du crochet peut être introduite dans l'espace scapho-lunaire

C: Stade 2, un diastasis peut être créé en introduisant le crochet dans l'espace scapho-lunaire

D: Stade 3 lésion complète du ligament scapho-lunaire, l'optique de la caméra peut être passé de médio carpien à radio carpien.

In Dreant N, Dautel G. Élaboration d'un score de sévérité arthroscopique pour les instabilités scapholunaires. Chir Main. 2003 Apr;22(2):90-4.

Le principal avantage de l'arthroscopie est donc la possibilité de faire la corrélation entre la présence d'une lésion du ligament scapho-lunaire et le degré d'instabilité qu'elle entraîne. Seule l'arthroscopie permet de tester directement le couple scapho-lunaire et ainsi quantifier de façon précise son degré d'instabilité.

Cependant l'arthroscopie présente également des inconvénients. En effet, cet examen est invasif et présente un risque de complications de 2% telles que les

infections, les risques anesthésiques, liées à la traction des doigts, liées à l'introduction des trocart avec des lésions tendineuses, artérielles, nerveuses, cartilagineuses ou ligamentaires [161,162]. Le problème majeur de l'arthroscopie dans le diagnostic de lésions ligamentaires reste celui de la corrélation entre les constatations cliniques et radiologiques et les constatations arthroscopiques. Certaines anomalies observées sont dépourvues de signification, et peuvent être considérées comme des stigmates du vieillissement [163].

IV. 5. CLASSIFICATION DES INSTABILITÉS SCAPHO-LUNAIRES

Le terme d'ISL englobe un large spectre lésionnel [123,164] selon les portions lésées, les lésions ligamentaires associées, le mode de survenue de ces lésions et le délai depuis le traumatisme initial.

On décrit classiquement 4 stades d'ISL établis par Watson selon les examens complémentaires réalisés:

- ISL pré-dynamique: il n'existe pas d'altération de la cinématique du carpe, le diagnostic ne peut être posé qu'à l'arthroscopie, sur un arthroscanner ou une IRM. Ce stade correspond en général à une lésion partielle du LSL ou une lésion complète avec conservation des stabilisateurs secondaires.
- ISL dynamique: il existe une anomalie de la cinématique du carpe entraînant des signes radiologiques sur les clichés dynamiques, on estime qu'à ce stade les

ligaments stabilisateurs secondaires permettent de maintenir l'alignement du carpe au repos uniquement [111,125].

- ISL statique: il existe des anomalies d'alignement du carpe permanentes, visibles sur les clichés de poignet au repos, ce stade correspond à une lésion complète du LSL avec lésion des stabilisateurs secondaires.
- *SLAC wrist*: il existe des lésions dégénératives secondaires, dont la progression est prévisible et pouvant aboutir à une arthrose pan-carpienne [7]. Selon les charges imposées au poignet, cette évolution se fait plus ou moins rapidement dans le temps.

En 2006, Garcia-Elias et son équipe ont développé une série de 5 questions dont les réponses permettent de quantifier la sévérité de l'atteinte du couple scapho-lunaire. Cette classification a permis le développement d'un algorithme thérapeutique répondant aux différents stades d'instabilité [8,165]. Ces items sont les suivants:

- Y a t'il une lésion du LSL? Dans cette question il faut raisonner en terme de zone de rupture: en particulier s'il existe une lésion de la portion dorsale du ligament scapholunaire,
- Si le LSL est rompu dans sa portion dorsale, la lésion est-elle réparable avec un bon potentiel de cicatrisation?
- Le scaphoïde est-il bien positionné ? Sa position se détermine à l'aide de l'angle radio scaphoïdien, il doit être supérieure à 60° pour parler de subluxation rotatoire du scaphoïde.
- Les défauts d'alignement du carpe sont-ils réductibles?
- Les surfaces chondrales radio et médio carpiennes sont-elles conservées?

Basés sur ces cinq facteurs pronostics, les ISL sont réparties en six stades de gravité croissante qui répondent à leur tour à une prise en charge chirurgicale dédiée.

- Stade 1: lésion incomplète du LSL
- Stade 2: lésion complète avec suture possible
- Stade 3: lésion complète non suturable avec alignement normal du scaphoïde
- Stade 4: lésion complète non suturable avec subluxation rotatoire du scaphoïde mais le défaut d'alignement du carpe est encore réductible.
- Stade 5: lésion complète non suturable avec défaut d'alignement du carpe irréductible mais surfaces chondrales saines.
- Stade 6: lésion complète non suturable avec défaut d'alignement irréductible et atteinte des surfaces chondrales (SLAC Wrist)

Les options thérapeutiques s'envisagent selon le stade de la lésion. En pratique, la classification de Garcia-Elias est la plus utile et applicable cliniquement. Elle permet de définir l'orientation thérapeutique.

IV. 5. STRATÉGIE THÉRAPEUTIQUE SELON LE STADE D'INSTABILITÉ SCAPHO-LUNAIRE

Les options thérapeutiques dépendent du stade lésionnel de la lésion scapho-lunaire (cf Classification de Garcia Elias) [14,111]. En cas de lésion aiguë (en général stade 1 ou 2 de la classification de Garcia-Elias), c'est-à-dire diagnostiquée

dans les 6 semaines suivant le traumatisme, il est recommandé de réaliser une suture directe ou une réinsertion par ancre associées ou non à un brochage, et/ou une capsulodèse à ciel ouvert ou sous arthroscopie [165].

Les techniques de ligamentoplasties sont à envisager pour les stades 3 et 4 de la classification de Garcia Elias [11,166,167]. L'objectif des ligamentoplasties est de corriger le diastasis scapho-lunaire, la subluxation du scaphoïde et la bascule en extension du lunatum (DISI) en utilisant une greffe tendineuse pour reconstruire le LSL. Le but final est de préserver le maximum de mobilité, de diminuer la douleur tout en prévenant le collapsus intra carpien à l'origine d'une arthrose à long terme [135]. À ce stade, les techniques de capsulodèse sont également indiquées, leur objectif étant de limiter la flexion palmaire du scaphoïde en retendant la capsule dorsale. Initialement décrite par Blatt en 1978 [168], les techniques de capsulodèse sont nombreuses et la capsuloplastie de Berger fait partie des plus couramment utilisées actuellement [169]. Elles peuvent être réalisées seules ou en complément des ligamentoplasties. Sont également décrits pour les ISL stade 4, les arthrodèses partielles et la pseudarthrodèse scapho-lunaire au moyen d'une vis de Herbert, appelée RASL procédure (*Reduction and Association of the Scaphoid and the Lunate*) [2].

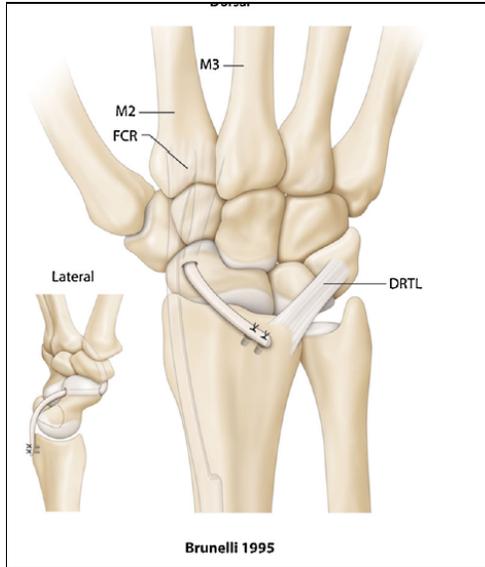
En cas de lésion statique irréductible, avec ou sans lésion chondrale correspondant aux stades 5 et 6 de la classification de Garcia Elias, la prise en charge relève de la chirurgie palliative à type de scaphoïdectomie, d'arthrodèse des 4 os ou de résection de la première rangée du carpe selon l'extension arthrosique [2,170].

IV. 6. PRINCIPALES TECHNIQUES DE LIGAMENTOPLASTIES

Il existe de multiples techniques de ligamentoplastie scapho-lunaire. Cependant nous ne citerons que les principales techniques régulièrement rapportées dans la pratique de ces dernières années. Il s'agit de la ligamentoplastie scapho-lunaire de Brunelli [19], de la technique de Brunelli modifiée par Van Den Abbeele [20] et de la triple ligamentoplastie de Garcia Elias [135]. Nous décrivons également la SLIC (*scapholunate intercarpal ligamentoplasty*) version 2, développée par l'équipe du Pr Dautel [29].

IV. 6. 1. Ligamentoplastie selon la technique de Brunelli

La technique de Brunelli (figure 33), initialement décrite en 1995, utilise un greffon d'hémi fléchisseur radial du carpe (FCR) à charnière distale sur la base du deuxième métacarpien. L'objectif de cette technique est de reconstruire en partie le complexe ligamentaire scapho-lunaire, en particulier le ligament scapho-trapézo-trapezial. Le tendon est passé à travers un tunnel trans-osseux antéro-postérieur dans le pôle distal du scaphoïde. Il est ensuite fixé en regard de la zone d'insertion de la portion dorsale du LSL sur le scaphoïde puis sur la berge postérieure dorso-ulnaire du radius (effet de capsuloplastie associé).



*Figure 33. Ligamentoplastie scapho-lunaire selon la technique de Brunelli, Présentation anglophone (haut de l'image= distal; bas= proximal)
In [Athlani L, Pauchard N, Detammaecker R, Huguet S, Lombard J, Dap F, et al. Treatment of chronic scapholunate dissociation with tenodesis: A systematic review. Hand Surgery and Rehabilitation. 2018 Apr 1;37(2):65–76]*

IV. 6. 2. Ligamentoplastie selon la technique de Brunelli modifiée par Van Den Abbeele

La technique de Brunelli modifiée par Van Den Abbeele en 1998 (figure 34) permet d'éviter d'enjamber l'articulation radio carpienne à l'origine d'une raideur avec déficit de flexion de poignet. Après le passage dans le tunnel trans-osseux, le greffon d'hémi FCR est passé autour du ligament radio carpien dorsal puis suturé à lui-même.

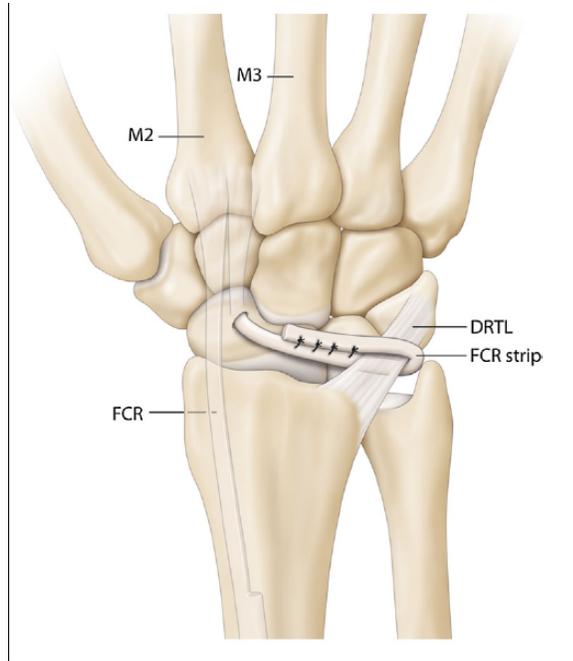


Figure 34. Ligamentoplastie scapho-lunaire selon la technique de Brunelli modifiée par Van Den Abbeele, Présentation anglophone (haut de l'image= distal; bas= proximal)
 In [Athlani L, Pauchard N, Detammaecker R, Huguet S, Lombard J, Dap F, et al. Treatment of chronic scapholunate dissociation with tenodesis: A systematic review. *Hand Surgery and Rehabilitation*. 2018 Apr 1;37(2):65–76]

IV. 6. 3. La triple ligamentoplastie

En 2006, Garcia Elias *et al.* développent la triple ligamentoplastie dérivée de la technique de Brunelli modifiée (figure 35). Un transplant de FCR à charnière distale est passé dans un tunnel transosseux antéropostérieur dans le pôle distal du scaphoïde selon un trajet oblique vers le haut plaçant le point de sortie en regard de la zone d'insertion de la portion dorsale du LSL sur la face dorsale du scaphoïde. Le greffon est ensuite sécurisé au moyen d'une ancre sur la face dorsale du lunatum. Il est ensuite passé au travers du ligament radio carpien dorsal de dessous à au dessus avant d'être suturé à lui-même.

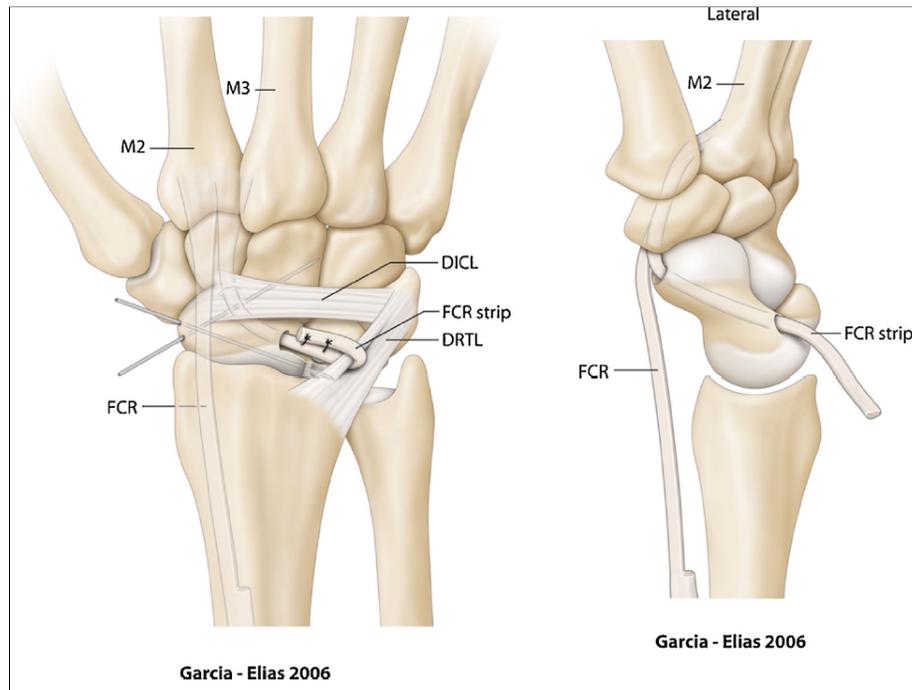


Figure 35. Ligamentoplastie scapho-lunaire selon la technique de triple ligamentoplastie de Garcia Elias, Présentation anglophone (haut de l'image= distal; bas= proximal)
 In [Athlani L, Pauchard N, Detammaecker R, Huguet S, Lombard J, Dap F, et al. Treatment of chronic scapholunate dissociation with tenodesis: A systematic review. *Hand Surgery and Rehabilitation*. 2018 Apr 1;37(2):65–76]

IV. 6. 4. Ligamentoplastie selon la technique SLIC version 2

La technique SLIC version 2 est une technique développée par le Pr Dautel et le Dr Pauchard, en 2017 (figure 36). Cette technique utilise un greffon de tendon de long palmaire pour reconstruire le segment dorsal du ligament scapho-lunaire et le ligament inter-carpien dorsal. Ce montage à l'aide d'ancres résorbables de 2,5mm pour fixer le greffon sur le scaphoïde et sur le lunatum, permet de créer 2 segments: un segment scapho-luno-triquétral qui corrige le diastasis scapho-lunaire et un segment

triquéto-luno-scaphoïdien pour corriger le DISI et la subluxation rotatoire du scaphoïde [171].

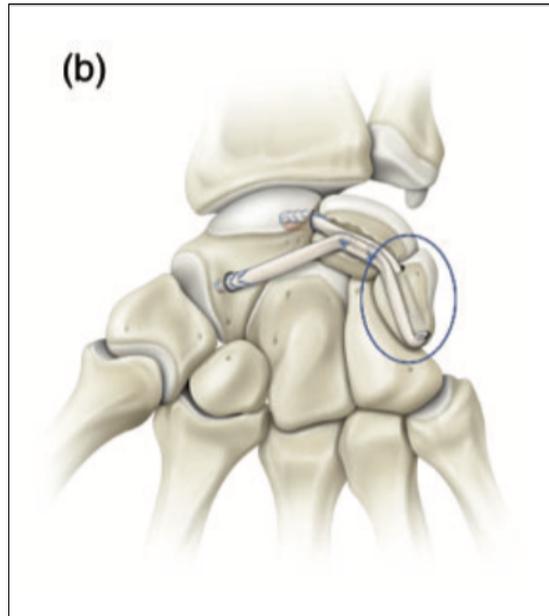


Figure 36. Ligamentoplastie scapho-lunaire selon la technique SLIC version 2,

Présentation francophone (haut de l'image= proximal; bas= distal)

In [Athlani L, Pauchard N, Detammaecker R, Huguet S, Lombard J, Dap F, et al. Treatment of chronic scapholunate dissociation with tenodesis: A systematic review. Hand Surgery and Rehabilitation. 2018

Apr 1;37(2):65–76]

V. ÉTUDE CLINIQUE DES RÉSULTATS À COURT TERME DE LA TECHNIQUE DE LIGAMENTOPLASTIE “ALL DORSAL SCAPHOLUNATE REPAIR”

V. 1. PATIENTS ET MÉTHODES

V. 1. 1. Design de l'étude

Il s'agit d'une étude rétrospective bicentrique réalisée au Centre Hospitalo-Universitaire de Grenoble dans le service de chirurgie plastique reconstructrice des membres et de la main et à la Clinique Générale d'Annecy. Les données cliniques et radiographiques pré et post opératoires des patients ayant bénéficié de la technique de ligamentoplastie scapho-lunaire “*all dorsal scapholunate repair*” ont été analysées. Les données ont été collectées sur la base du dossier médical rempli lors des consultations pré-opératoires puis de contrôle. Les patients ont été revus en consultation ou contactés par téléphone pour compléter les informations présentes dans le dossier médical.

V. 1. 2. Population

Tous les patients ayant bénéficié d'une ligamentoplastie scapho-lunaire de type “*all dorsal scapholunate repair*” sur la période de juin 2019 à décembre 2020 ont été inclus dans l'étude, soit 28 patients. La chirurgie était toujours réalisée par un chirurgien sénior (5 chirurgiens au total). Les patients ayant bénéficié dans le même temps opératoire d'une autre chirurgie sur le même membre, ou d'une reprise chirurgicale ont été exclus.

Sur les 28 patients initialement inclus dans l'étude, on comptait 5 perdus de vue, 1 patient exclu car ayant bénéficié dans le même temps opératoire d'une résection du pôle proximal du scaphoïde sur le même poignet et 1 autre patient exclu car ayant bénéficié d'une reprise de ligamentoplastie (1ère ligamentoplastie selon la technique SLIC version 2). Au total, on comptait 21 patients au contrôle final. L'inclusion des patients est décrite dans la figure 37.

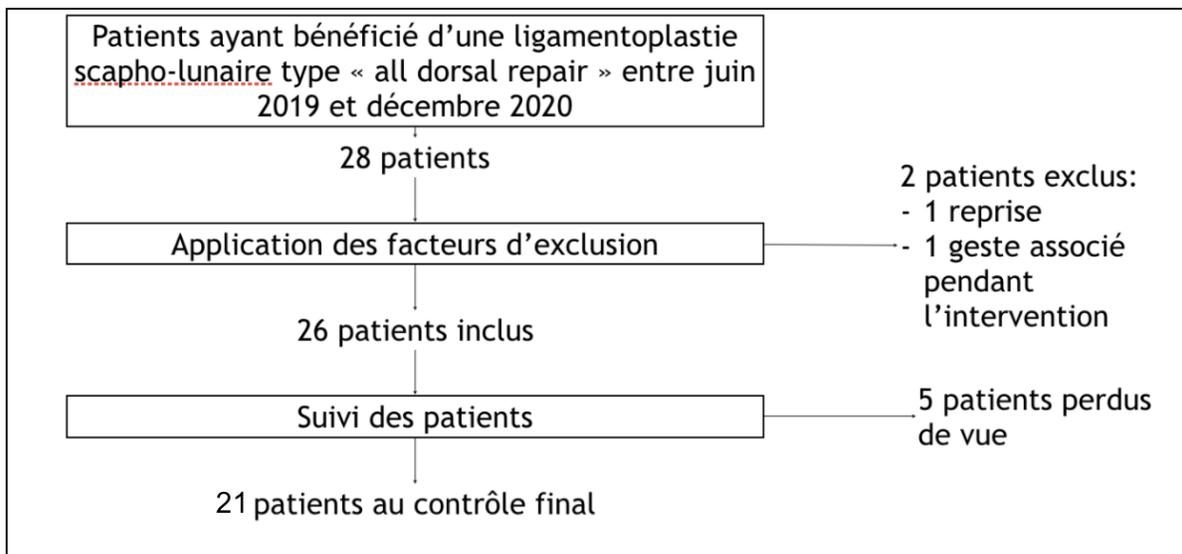


Figure 37. Flowchart des patients de l'étude

V. 1. 3. Évaluation préopératoire

L'ensemble des patients a bénéficié d'une évaluation clinique et radiographique préopératoire afin de confirmer l'instabilité scapho-lunaire et son stade. Les examens comprenaient des radiographies du poignet de face et de profil, et un arthroscanner. Dans les cas litigieux, une arthroscopie de poignet était réalisée afin de confirmer le

diagnostic. Chez l'ensemble des patients, une ISL chronique sans lésion de chondropathie avait été diagnostiquée, correspondant aux stades 3 ou 4 de la classification de Garcia Elias. La décision finale était validée en peropératoire après évaluation du LSL, vérification des surfaces articulaires et de la réductibilité du DISI et du diastasis.

V. 1. 4. Technique chirurgicale

La technique chirurgicale employée est la ligamentoplastie scapho-lunaire "*all dorsal scapho-lunate repair*", technique développée par le Dr Steven S. Shin en collaboration avec le laboratoire Arthrex. Cette technique utilise le concept de renfort interne de la ligamentoplastie par une bandelette synthétique ("*internal brace*" des anglophones). Elle combine un greffon tendineux libre, à cette bandelette synthétique, le fibertape® (laboratoire Arthrex), composé de polyéthylène à ultra-haut poids moléculaire tressé censée renforcer le montage notamment pendant le temps de cicatrisation et d'intégration de l'autogreffe.

Cette technique chirurgicale permet de créer deux segments ligamentaires dont le sommet se situe au niveau du lunatum:

- Un segment court et transversal entre le pôle proximal du scaphoïde et le lunatum
- Un segment long et oblique entre le lunatum et le pôle distal du scaphoïde

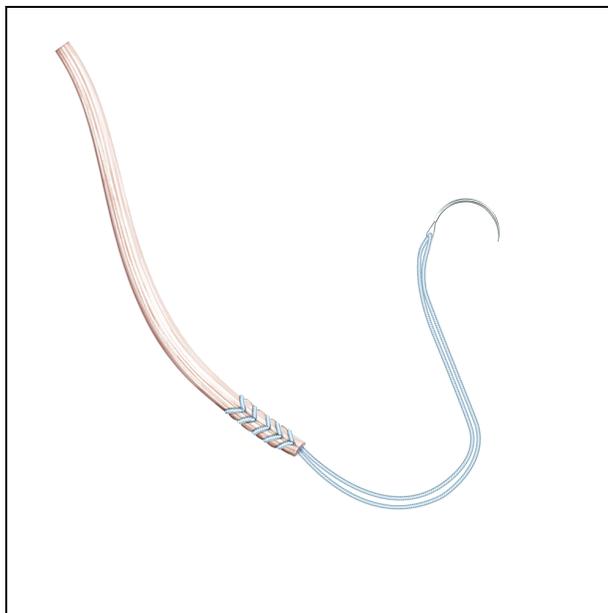
Le but de la technique est de corriger le diastasis scapho-lunaire et la subluxation dorsale du scaphoïde afin de prévenir les lésions secondaires d'arthrose SLAC.

La chirurgie est réalisée sous anesthésie locorégionale et sous garrot pneumatique placé en racine de membre.

Une voie d'abord longitudinale dorsale centrée sur l'articulation radio carpienne en regard du tubercule de Lister et dans l'axe du 3ème rayon est réalisée. Le rétinaculum des extenseurs est ouvert entre les troisième et quatrième compartiments des tendons extenseurs. Le nerf interosseux postérieur est réséqué au pied du tubercule de Lister. Une capsulotomie à charnière radiale selon Berger est ensuite réalisée, le long du ligament radio-triquétral dorsal jusqu'en ulnaire, puis le long du ligament inter carpien dorsal jusqu'au scaphoïde.

Après confirmation de la rupture complète du LSL et en l'absence de moignons suturables, les moignons du LSL natif sont alors réséqués et les surfaces articulaires contrôlées afin de s'assurer de l'absence de chondropathie en particulier sur les surfaces articulaires du lunatum et du capitatum.

On réalise ensuite le prélèvement de long palmaire sur le même membre, par 2 courtes incisions étagées à la face palmaire du poignet et de l'avant bras afin d'obtenir un greffon de 10 centimètres. Le transplant est faufilé à une extrémité avec un fiberloop 2.0 ou 4.0 ® (laboratoire Arthrex) tel que décrit dans la figure 38.



*Figure 38. Greffon tendineux faufile à une extrémité avec du Fiberloop 2.0 ®
Image publiée avec l'accord de Arthrex France*

Des broches joystick sont placées dans le scaphoïde et le lunatum afin de réduire le diastasis scapho-lunaire, le DISI et la flexion palmaire du scaphoïde puis maintenues manuellement ou à l'aide d'un davier (figure 39).

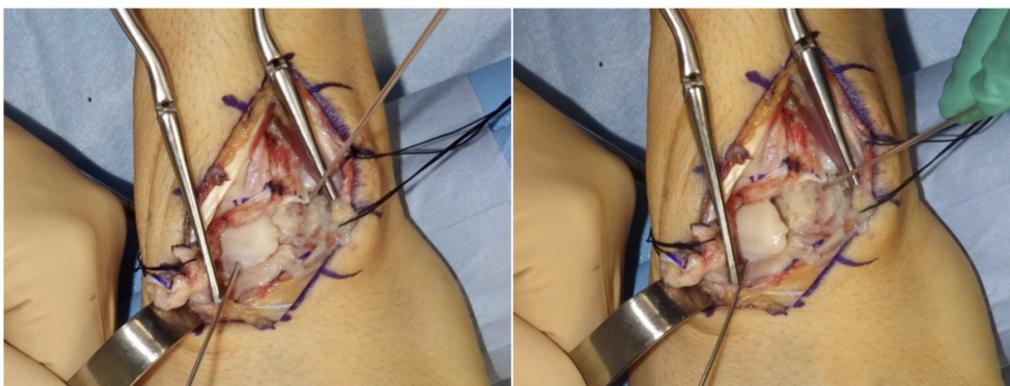


Figure 39. Réduction du diastasis scapholunaire grâce aux broches guides placées dans le scaphoïde et le lunatum

Trois broches guides de 10/10èmes sont ensuite positionnées respectivement dans le pôle proximal du scaphoïde (en regard du site d'insertion de la portion dorsale du ligament scapho-lunaire), dans le centre du lunatum et dans le pôle distal du scaphoïde de dorsal à palmaire. On réalise trois tunnels borgnes sur ces broches guides à l'aide d'une mèche canulée de 3,5 millimètres (mm) de diamètre sur une longueur de 12mm (figure 40).

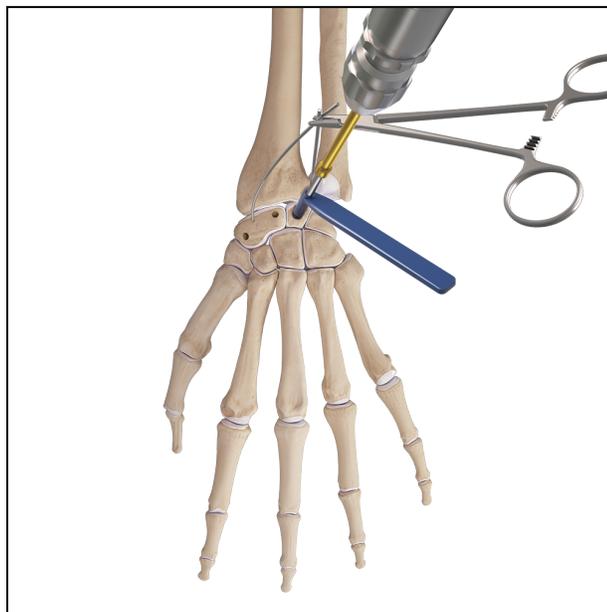


Figure 40. Réalisation des tunnels borgnes dans le pied du scaphoïde, le tubercule du scaphoïde et le lunatum à l'aide d'une mèche de 3,5.

Présentation francophone (haut de l'image= proximal; bas= distal)

Image publiée avec l'accord de Arthrex France

Le transplant tendineux associé au FiberTape® 2 mm (laboratoire Arthrex) sont alors impactés dans le tunnel borgne situé au niveau du pôle proximal du scaphoïde à l'aide d'une ancre Swivelock Dx 3.5 mm ® (laboratoire Arthrex). Puis le transplant et la bandelette synthétique sont fixés dans le tunnel situé sur le lunatum à l'aide du même modèle d'ancre après réduction du diastasis, du DISI et de la bascule du scaphoïde à

l'aide des deux broches joystick ou d'un davier à pointe (figure 41). Le deuxième jambage du transplant est passé au niveau du LSL à sa portion dorsale et fixé dans le dernier tunnel borgne situé dans le pôle distal du scaphoïde selon le même procédé en tension maximale.



Figure 41. Impaction du transplant et du Fiber Tape® (laboratoire Arthrex) à l'aide d'une ancre de type Swivelock Dx 3,5® (laboratoire Arthrex) dans les tunnels borgnes du scaphoïde et du lunatum en tension maximale

*Présentation francophone (haut de l'image= proximal; bas= distal)
Image publiée avec l'accord de Arthrex France*

Le montage est protégé par une broche scapho-capitale de diamètre 12/10èmes sous contrôle scopique associée ou non à une broche scapho-lunaire (figure 42).

La capsule articulaire est fermée au monofilament synthétique en poly(Pdioxanone) 3/0 résorbable puis le retinaculum des extenseurs au monofilament synthétique en poly(Pdioxanone) 4/0 résorbable.



Figure 42. Mise en place d'une broche scapho-capitate
Présentation francophone (haut de l'image= proximal; bas= distal)

Vidéo récapitulative de la technique chirurgicale: [All-Dorsal Scapholunate](#)
[Reconstruction with InternalBrace™ Ligament Augmentation Repair](#)

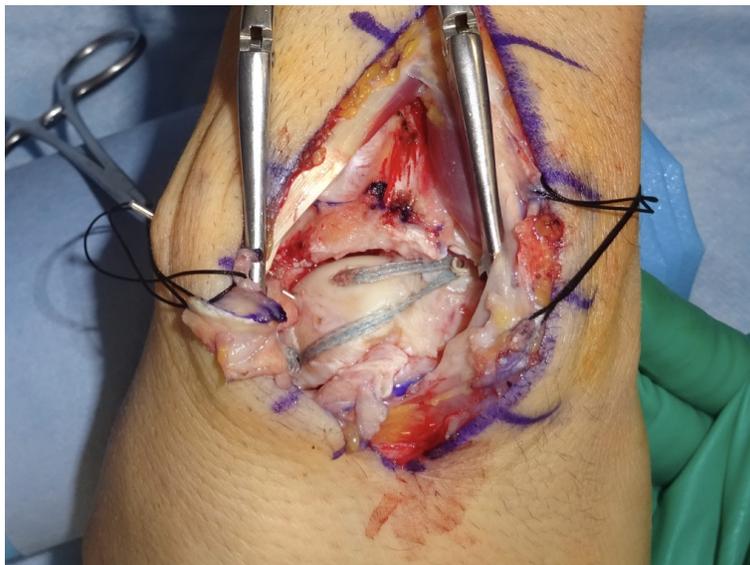


Figure 43. Résultat en fin d'intervention de la ligamentoplastie "all dorsal scapholunate repair"

V. 1. 5. Protocole postopératoire

Les suites post opératoires consistent en une immobilisation stricte par attelle ou plâtre pour une durée de 45 jours. Le retrait de la ou des broches est réalisé entre J45 et J60 postopératoires. La rééducation est débutée à partir de l'ablation des broches et le travail en force autorisé à partir du troisième mois postopératoire.

V. 1. 6. Critères d'évaluation

Les critères de jugement étaient cliniques, fonctionnels, radiographiques et socio-économiques.

Les critères cliniques étaient:

- la douleur au repos et à l'effort selon l'échelle visuelle analogique (EVA de 0 à 10)
- Les amplitudes articulaires en flexion, extension, inclinaison ulnaire et inclinaison radiale en degrés et comparativement au poignet controlatéral, mesures réalisées à l'aide d'un goniomètre.
- La force de serrage, mesurée à l'aide d'un dynamomètre hydraulique à main de type Jamar®, et rapportée en kilogrammes et en pourcentage de force par rapport au côté controlatéral sain.

Les critères radiographiques (radiographies de face et de profil du poignet) pré et postopératoires étaient:

- La mesure de l'espace scapho-lunaire en mm (ESL)
- La mesure de l'angle scapho-lunaire en degrés (ASL)
- La mesure de l'angle radio-lunaire en degrés (ARL)
- l'étude de la position du scaphoïde en recherchant un débord postérieur du scaphoïde par rapport au radius en faveur de la subluxation dorsale du scaphoïde
- L'évaluation de la présence d'arthrose SLAC définie selon Watson

Nous n'avons pas pris en compte la mesure de l'angle radio-scaphoïdien postérieur en raison d'un manque de données scannographiques.

Les scores fonctionnels évalués étaient [172]:

- Le QuickDASH (*Quick Disability of Shoulder, Arm, and Hand Questionnaire*) : évaluation subjective globale du membre supérieur sur 100, plus le score est bas plus le résultat fonctionnel est bon
- Le PRWE (*Patient-Rated Wrist Evaluation Questionnaire*): score subjectif de 0 à 150, plus le score est bas plus le résultat fonctionnel est bon.
- Le *Mayo wrist score*: basé sur 100 points, score plus objectif que les scores précédents, tenant compte de la mobilité, de la force, de la douleur et de la reprise de l'activité professionnelle.

Mayo Wrist Score	Interprétation
90-100	Excellent résultat fonctionnel
80-89	Bon résultat fonctionnel
65-79	Résultat fonctionnel moyen
<65	Résultat fonctionnel mauvais

Tableau 2. Interprétation des résultats du Mayo Wrist Score [172]

Ont également été recensées les complications peropératoires et postopératoires.

Des critères secondaires ont été évalués tels que la durée d'arrêt de travail, le délai entre la chirurgie et la reprise des activités sportives, ainsi que la satisfaction du patient quant aux résultats de la chirurgie sur une échelle de 1 à 4 (1= insatisfait, 4= très satisfait).

V. 1. 7. Analyse statistique

Les données recueillies ont été présentées sous forme de moyennes avec les valeurs minimales et maximales. En termes d'analyse statistique, un *paired t-test* était réalisé pour comparer les valeurs préopératoires et postopératoires, et un *independent sample t-test* pour les analyses en sous groupe. Selon la distribution des données, était ensuite réalisé un test de Student en cas de distribution normale ou un test de Mann Withney dans le cas contraire. Une différence était considérée comme statistiquement

significative lorsque le risque d'erreur de type I était inférieur à 5% soit p inférieur à 0,05.

V. 2. RÉSULTATS

V. 2. 1. Données épidémiologiques

Les données épidémiologiques des patients sont présentées dans le tableau 3. L'âge moyen des 21 patients retenus après application des facteurs d'exclusion, était de 44,6 ans (de 23 à 61 ans) lors de l'intervention. La répartition selon la classe d'âge est représentée dans la figure 44, avec près de la moitié des patients âgés de 40 à 59 ans.

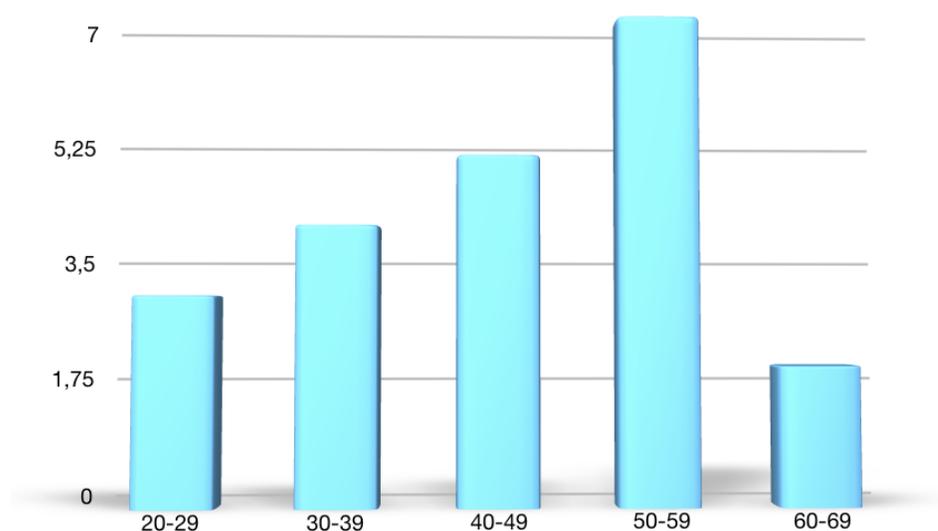


Figure 44. Répartition des patients inclus selon l'âge au moment de la chirurgie

La série comprenait 5 femmes et 17 hommes. Quatorze patients ont été opérés du poignet droit et 7 du poignet gauche, la lésion étant présente sur la main dominante

chez 62% des patients. Le délai moyen entre le traumatisme et la chirurgie était de 13,1 mois (2-48 mois), sachant que chez 2 patients, il n'existait pas de notion de traumatisme initial à l'origine du tableau d'instabilité scapho-lunaire. Trois patients ont présenté une rupture du LSL diagnostiquée dans les suites d'une fracture de l'extrémité inférieure du radius, et un patient dans les suites d'une luxation rétro-lunaire du carpe. Parmi les 21 patients, 7 traumatismes étaient liés à des accidents de travail, et 11 patients effectuaient un travail manuel ou de force.

Données	Résultat
Age moyen en années	45,3 (23-61)
Sexe	5 femmes, 16 hommes
Travail manuel ou de force	11 (52%)
Contexte d'accident de travail	7 (33%)
Poignet lésé	14 poignets droits, 7 poignets gauches
Poignet dominant lésé	13 (62%)
Délai moyen entre la chirurgie et le traumatisme en mois	13,1 (2-48)
Stade d'instabilité selon Garcia Elias [166]	13 stades 3, 8 stades 4

Tableau 3. Données épidémiologiques des patients inclus dans l'étude

Concernant les traumatismes à l'origine des ruptures du LSL, la figure 44 permet d'apprécier la répartition des patients selon le type de traumatisme. On note que le

traumatisme prédominant est une chute de sa hauteur avec réception sur la main, poignet en hyperextension (38%).

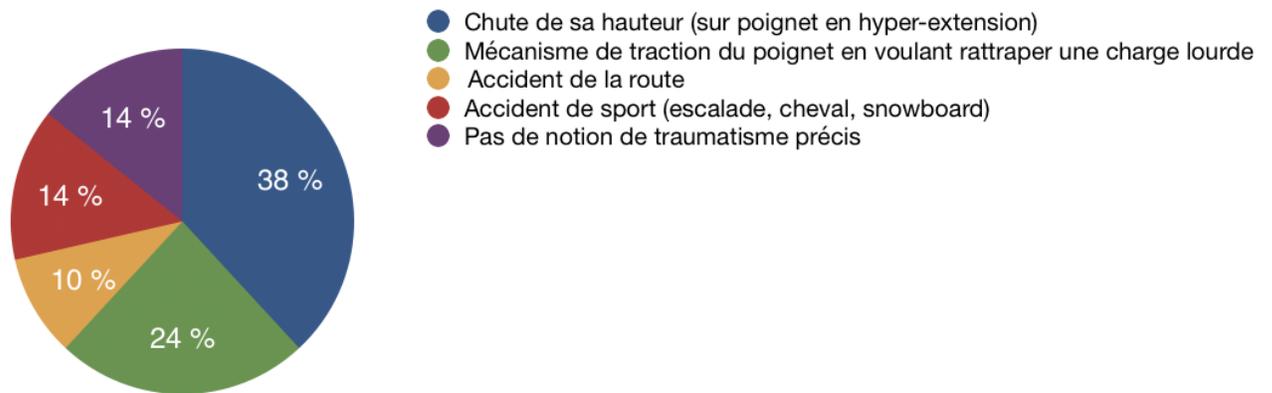


Figure 45. Répartition des patients inclus selon le type de traumatisme à l'origine de l'instabilité scapho-lunaire

Tous les patients inclus ont bénéficié d'un arthroscanner qui mettait en évidence une lésion complète du LSL sans lésion arthrosique décelable. Dans 4 cas, une arthroscopie diagnostique a été réalisée en complément de l'arthroscanner afin de préciser la lésion. Selon la classification de Garcia Elias, il y avait 13 stades 3 et 8 stades 4.

V. 2. 2. Données cliniques (tableau 4)

Vingt et un patients ont été revus avec un recul moyen de 14,2 mois (6-24 mois).

Au dernier contrôle, 3 patients décrivaient des douleurs au repos et à l'effort contre 18 patients des douleurs uniquement à l'effort, avec en moyenne une douleur cotée à 0,1/10 au repos (0-4) et 4/10 à l'effort (0-8) selon l'échelle visuelle analogique (EVA).

Les patients présentaient une force de serrage globale moyenne à 35 kg (10-65kg) sur le poignet lésé. Comparativement au poignet controlatéral, on retrouvait une force de serrage estimée à 65% en moyenne de celle du poignet opposé.

Les mobilités moyennes des patients étaient de 47° en flexion (20-80°), 58° en extension (40-80°), 32° en inclinaison ulnaire (15-45°), et 19° en inclinaison radiale (5-35°). En comparant ces données au poignet controlatéral, les mobilités postopératoires correspondaient à 68% de la mobilité controlatérale en flexion (27-100%), 80% en extension (60-100%), 82% en inclinaison ulnaire (33-100%), et 77% en inclinaison radiale (25-100%).

Critère de jugement clinique	Poignet opéré (moyenne)	Pourcentage du poignet opposé
EVA au repos	0,1 (0;7)	x
EVA à l'effort	4 (0;8)	x
Force de serrage	35 kg (10;65)	64%
Flexion	47°	68%
Extension	58°	80%
Inclinaison ulnaire	32°	82%
Inclinaison radiale	19°	77%

Tableau 4. Résultats moyens des patients inclus au dernier contrôle clinique

V. 2. 3. Critères radiographiques (tableau 5)

On retrouvait dans les données préopératoires un espace scapho-lunaire moyen de 4,3mm (2-9mm), un angle scapho-lunaire moyen estimé à 70,9°(45-105°), un angle radio-lunaire moyen de 17,9° (4,4-55°), un angle radio-scaphoïdien moyen estimé à 55,9° (39,8-72,7°), et un débord dorsal du scaphoïde chez 5 patients.

En post-opératoire, les résultats étaient les suivants: un espace scapho-lunaire (ESL) moyen mesuré à 3,2 mm (2-6mm), un angle scapho-lunaire (ASL) moyen mesuré à 64° (35-90°), un angle radio-lunaire (ARL) moyen mesuré à 15,4° (4,4-28°), un angle radio-scaphoïdien (ARS) moyen mesuré à 54° (34,5-72°) avec 3 patients présentant un débord dorsal du scaphoïde sur les radiographies de contrôle.

Ainsi la différence moyenne entre les données préopératoires et postopératoires était de -0,7° pour l'ESL, de -6,8° pour le ASL -1,9° pour le ARL, et -1,8° pour le ARS.

Lors de la comparaison entre les données préopératoires et postopératoires, on mettait en évidence une diminution statistiquement significative de l'espace scapho-lunaire ($p=0,016$) et de l'angle scapho-lunaire ($p=0,003$), en faveur d'une amélioration de ces critères radiographiques après la chirurgie. On ne retrouvait pas de différence statistiquement significative concernant les mesures des angles radio-lunaire et radio-scaphoïdien.

Critères radiographiques	Préopératoire	Postopératoire	$p=0,05$
Angle scapho-lunaire moyen en degrés	70,9	64	0,016
Angle radio-lunaire moyen en degrés	17,9	15,4	0,331
Angle radio-scaphoïdien moyen en degrés	55,9	54	0,358
Espace scapho-lunaire moyen en mm	4,3	3,2	0,003
Débord du scaphoïde (chez n patients)	5	3	x

Tableau 5. Analyse des critères radiographiques moyens pré opératoires et post opératoires.

V. 2. 4. Scores fonctionnels et degré de satisfaction (tableau 6)

Les questionnaires fonctionnels ont été remplis uniquement en postopératoire. Nous ne disposons pas des données postopératoires pour un patient car ayant bénéficié d'une reprise chirurgicale avant la réalisation des scores fonctionnels.

Les résultats sont reportés dans le tableau 6 avec un Quickdash moyen à 29,2/100, un PRWE moyen à 24/100, et un *Mayo Wrist Score* moyen à 67,8/100. Le *Mayo Wrist Score* correspondait à 5 excellents résultats, 4 bons résultats, 4 résultats moyens et 7 mauvais résultats.

Scores fonctionnels (n=20)	Score moyen sur 100	Classement des scores
PRWE Score (sur 100)	24 (3; 54)	X
Quickdash (sur 100)	29.2 (2.2;88.6)	X
Mayo Wrist Score (sur 100)	67.8 (15;100)	7 mauvais, 4 corrects, 4 bons, 5 Excellents
Score de satisfaction (sur 4)	3.1 (1;4)	81% de satisfaction (scores compris entre 3 et 4)

Tableau 6. Résultats des scores fonctionnels et de satisfaction.

On retrouvait un score de satisfaction moyen à 3,1 sur 4 (1-4) avec 81% de patients satisfaits ou très satisfaits. Les patients décrivaient une amélioration entre le préopératoire et le post opératoire. Sur les 21 patients, 4 patients ont décrit un mauvais score de satisfaction (3 patients étant peu satisfaits et 1 patient non satisfait). Ces mauvais scores étaient liés à:

- une évolution vers un poignet SLAC stade 4 chez un patient, ayant nécessité une reprise chirurgicale (dénervation totale du poignet),
- des douleurs persistantes au repos et à l'effort associées à une raideur du poignet pour les 3 autres patients.

V. 2. 5. Critères socio économiques (tableau 7)

Seize patients soit 76% des patients inclus ont pu reprendre leur activité professionnelle à 5,2 mois en moyenne (2-18 mois) et 4 patients ont bénéficié d'une mise en invalidité ou sont en cours de reclassement professionnel en raison de leur

incapacité fonctionnelle liée au poignet lésé. Un patient n'a pas pu reprendre son poste en raison d'un problème sur le poignet controlatéral.

Soixante-neuf pour cent des patients exerçant des activités sportives ont pu reprendre leurs activités habituelles. Le délai moyen de reprise était de 4 mois. Quatre patients n'avaient pas encore repris leurs activités sportives au dernier contrôle, il s'agissait d'activités telles que la natation, le vélo ou la musculation (notamment dans les mouvements de pompe).

Professions manuelles (n=21)	11
Délai moyen de reprise du travail (n=16)	5,2 mois, (pas de reprise chez 5 patients)
Délai moyen de reprise des activités sportives (n=13)	4 mois, (pas de reprise chez 4 patients)

Tableau 7. Résultats en terme de critères socio-économiques

V. 2. 6. Complications

En peropératoire, nous avons noté la survenue d'un trait de refend sur le lunatum sans impact sur la tenue de l'ancre ou l'évolution radiographique.

En postopératoire nous on avons noté:

- un syndrome douloureux régional complexe de type 1 chez un patient (confirmé par une scintigraphie),
- des dysesthésies sur le territoire de la branche sensitive du nerf radial liée à une irritation du nerf par une broche chez 2 patients (spontanément résolutive dans les deux cas)

- une tendinite de De Quervain chez une patiente liée à l'irritation du premier compartiment par la broche temporaire.

À distance de la chirurgie, un patient a présenté une évolution vers un poignet SLAC stade 4 avec d'importantes géodes dans le lunatum, le radius et le scaphoïde notamment en regard des sites d'implantation des ancres pour le scaphoïde et le lunatum avec récurrence du DISI et du diastasis scapho-lunaire (figure 46). Après discussion avec le patient des différentes options chirurgicales, ce dernier a bénéficié d'une dénervation de poignet à 12 mois de la ligamentoplastie (cas 10).

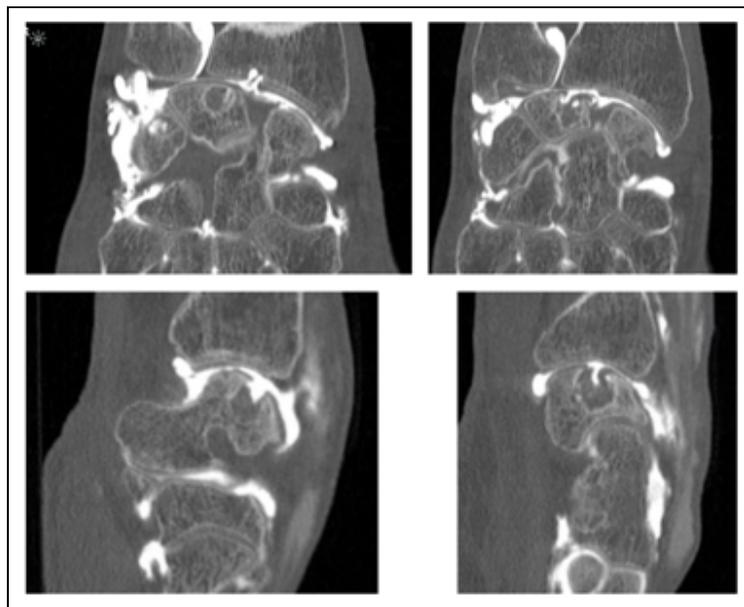


Figure 46. Images d'arthroscanner du patient ayant décompensé son instabilité scapho-lunaire suite à la chirurgie avec une évolution vers un poignet SLAC Stade IV. On observe d'importantes géodes dans le scaphoïde, le lunatum et le radius.

Présentation francophone (haut de l'image= proximal; bas= distal)

Lors du contrôle radiologique au dernier recul, nous avons noté chez 10 patients (47,6% des cas) une zone d'ostéolyse autour du site d'implantation des ancras

Swivelock Dx 3.5® (laboratoire Arthrex), sans conséquence clinique, ni d'indication de reprise chirurgicale (figure 47).

Un patient a présenté un accident de vélo à 15 mois de la ligamentoplastie avec traumatisme sur le poignet opéré, l'arthroscanner réalisé dans les suites a confirmé une rupture du montage.



*Figure 47. Radiographie de contrôle d'un patient à 19 mois post opératoire avec présence de zones d'ostéolyse autour des ancras Swivelock Dx 3,5 (arthrex)
Présentation francophone (haut de l'image= proximal; bas= distal)*

V. 2. 7. Analyses en sous groupe

Des analyses en sous groupe ont été réalisées afin d'étudier l'influence des critères suivants sur les résultats de la technique:

- le stade d'instabilité scapho-lunaire selon la classification de Garcia Elias,
- l'ancienneté de la lésion en mois
- le contexte d'accident de travail,

- le nombre de broches de protection,
- le délai de suivi postopératoire .

V. 2. 7. 1. Selon le contexte d'accident de travail

Sur l'ensemble des patients, 7 lésions du LSL étaient liées à un accident de travail. L'analyse en sous groupe selon le contexte d'accident de travail ou non a permis de mettre en évidence l'absence de différence statistiquement significative en termes de mobilité et de douleur. Malgré l'absence de différence statistiquement significative, on observait de meilleurs scores fonctionnels dans le groupe accident domestique ou de loisir. On remarquait également un délai moyen de reprise de l'activité professionnelle plus important dans le groupe accident du travail avec 10,75 mois (4-19 mois) contre 3,8 mois (2-7 mois) dans le groupe accident domestique ou de loisir. Le pourcentage de patients n'ayant pas repris leur activité était estimé à 57% dans le groupe accident de travail contre 8,3% dans le groupe accident domestique ou de loisir.

	n patients	EVA au repos - à l'effort	F en degrés (en % CL)	E en degrés (en % CL)	IR en degrés (en % CL)	IU en degrés (en % CL)	Force de serrage en kg (en % CL)	QD	PRWE	Mayo Wrist Score	Délai de reprise du travail (en mois)	Absence de reprise (en %)
Contexte d'accident de travail	7	0,8 - 4,4	44 (65)	54,3 (81,3)	15 (60,7)	36,4 (88,4)	22,6 (55,1)	39.1	30.2	52.9	10,75	57
Accident domestique ou de loisir	14	0,1-3,7	48,9 (70)	59,3 (78,9)	21,4 (81,5)	29,7 (87,4)	33,7 (69,3)	23.9	20.7	75.8	3,8	8,3
$p=0,05$	x	0,179 - 0,546	0,546 (0,605)	0,394 (0,605)	0,133 (0,08)	0,169 (0,392)	(0,215)	0,171	0,137	0,123	x	x

Tableau 8. Analyse en sous-groupe des résultats de scores fonctionnels et cliniques selon le contexte d'accident de travail. (F= flexion, E= extension, IR=inclinaison radiale, IU= inclinaison ulnaire, QD= Quickdash, CL= controlatéral)

V. 2. 7. 2. Selon la technique opératoire

L'analyse des résultats en fonction du nombre de broches de protection a été réalisée. Les patients ont été répartis en deux groupes: une broche scapho-capitale vs broches scapho-capitale et scapho-lunaire. Sept patients ont bénéficié lors de la procédure de ligamentoplastie d'un brochage temporaire double et 13 patients d'un brochage temporaire simple scapho-capital. L'ablation des broches a été réalisée à 48 jours (30-62 jours) postopératoires en moyenne.

	Nombre de patients	EVA au repos - à l'effort	F en degrés (en % CL)	E en degrés (en % CL)	IR en degrés (en % CL)	IU en degrés (en % CL)	Force de serrage en kg (en % du côté opposé)	QD	PRWE	Mayo	Complications liées aux broches
1 broche scapho-capitale	12	0,4-3,8	46,5 (63)	61,2 (81)	15,9 (76,6)	32,5 (81,5)	30 (68.4)	28.9	25.9	68.8	2 tableaux à type de paresthésies sur le territoire de la branche sensitive du nerf radial
2 broches (scapho-capitale et scapho-lunaire)	8	0,25-4,8	55,8 (75,8)	53,8 (77)	21,1 (76,5)	31,5 (83,9)	32 (62.1)	29.7	20.7	68.3	1 tendinite de De Quervain
$p=0,05$	x	0,236 - 0,517	0,546 (0,619)	0,394 (0,709)	0,273 (0,456)	0,175 (0,392)	(0,218)	0,257	0,137	0,123	x

Tableau 9. Analyse en sous-groupe des résultats de scores fonctionnels, et cliniques selon le nombre de broches de stabilisation de la ligamentoplastie. (F= flexion, E= extension, IR=inclinaison radiale, IU= inclinaison ulnaire, QD= Quickdash, CL= controlatéral)

	ASL au dernier suivi (en degrés)	Différence entre ASL pré opératoire et postopératoire (en degrés)	ARL au dernier suivi (en degrés)	Différence entre ARL pré opératoire et postopératoire (en degrés)	ESL au dernier suivi (en mm)	Différence entre ESL pré opératoire et postopératoire (en mm)	ARS au dernier suivi (en degrés)	Différence entre ARS pré opératoire et postopératoire (en degrés)
1 broche scapho-capitale	61,6	-4,7	15,3	-0,3	3,2	-0,4	51,6	-1,9
2 broches (scapho-capitale et scapho-lunaire)	77	-10,7	15,6	-4,8	2,8	-1,22	57,1	-1,5
$p=0,05$	0,215	0,145	0,181	0,167	0,178	0,273	0,724	0,601

Tableau 10. Analyse en sous-groupe des résultats radiographiques selon le nombre de broches de stabilisation de la ligamentoplastie. ASL: angles scapho-lunaire, ARL: angle radio-lunaire, ARS: angle radio-scaphoïdien, ESL: espace scapho-lunaire

D'après l'analyse en sous-groupe, il n'existait aucune différence statistiquement significative entre les résultats obtenus pour les montages à 1 broche ou à 2 broches en termes de mobilité, de douleur, de scores fonctionnels ou de réduction des critères radiographiques. La seule différence était la présence de complications liées aux broches avec 2 cas de paresthésies du territoire de la branche sensitive du nerf radial sur irritation par la broche dans le groupe "1 broche" et 1 cas de tendinite de De Quervain dans le groupe "2 broches".

V. 2. 7. 3. Selon le stade défini selon Garcia Elias

Une analyse en sous groupe du stade selon la classification de Garcia Elias [166], a été réalisée. Parmi les 21 patients, on retrouvait 13 stades 3 et 8 stades 4.

Sur les plans clinique et fonctionnel, il n'existait pas de différence significative en termes de douleur, de mobilités, de force de serrage et de scores fonctionnels dans le groupe "stade 3 de Garcia Elias" et le groupe "stade 4 de Garcia Elias".

Sur le plan radiologique, on retrouvait une différence significative pour la mesure de l'ESL postopératoire ($p=0,008$), moins important dans le groupe "stade 3" avec 2,8 mm pour 3,9 mm dans le groupe "stade 4"; et pour la mesure de l'ARS postopératoire ($p= 0,026$) avec un angle moins important dans le groupe "stade 3" avec $49,1^\circ$ que dans le groupe "stade 4" avec $61,3^\circ$. En analysant le degré de correction de chaque critère radiographique entre le préopératoire et le postopératoire, on retrouvait une différence significative quant à la réduction de l'ARL et de l'ESL entre le préopératoire et le post opératoire .

	Nombre de patients	EVA au repos - à l'effort	F en degrés (en % CL)	E en degrés (en % CL)	IR en degrés (en % CL)	IU en degrés (en % CL)	Force de serrage en kg (en % du côté opposé)	QD	PRWE	Mayo Wrist score
Stade 3 de Garcia Elias	13	0,3 - 3,9	51,1 (72)	60 (84)	20,7 (81,6)	34,7 (85,2)	35.3 (70,1)	28.2	22.7	72.7
Stade 4 de Garcia Elias	8	0,12 - 4	38,8 (62,8)	53,8 (72)	16,9 (69,3)	26,3 (76,2)	21.4 (55,6)	31	26.4	58.6
$p=0,05$	χ	0,812 - 0,835	0,172 (0,350)	0,337 (0,033)	0,0362 (0,335)	0,086 (0,497)	(0,191)	0,691	0,576	0,121

Tableau 11. Analyse en sous groupe selon le stade de l'instabilité scapho-lunaire. EVA: douleur selon l'échelle visuelle analogique, F: flexion, E: extension, IR: inclinaison radiale, IU: inclinaison ulnaire, QD: Quickdash, CL: controlatéral

	ASL au dernier suivi (en degrés)	Différence entre ASL pré opératoire et postopératoire (en degrés)	ARL au dernier suivi (en degrés)	Différence entre ARL pré opératoire et postopératoire (en degrés)	ESL au dernier suivi (en mm)	Différence entre ESL pré opératoire et postopératoire (en mm)	ARS au dernier suivi (en degrés)	Différence entre ARS pré opératoire et postopératoire (en degrés)
Stade 3 de Garcia Elias	59,6	-4;3	13,7	1,2	2,8	-0,8	49,1	-0,6
Stade 4 de Garcia Elias	71,1	-11,4	18	-8,7	3,9	-1,1	61,3	-4,9
$p=0,05$	0,75	0,205	0,241	0,050	0,008	0,0334	0,026	0,703

Tableau 12. Analyse des critères radiographiques selon le stade de l'instabilité scapho-lunaire. ASL: angles scapho-lunaire, ARL: angle radio-lunaire, ARS: angle radio-scaphoïdien, ESL: espace scapho-lunaire

V. 2. 7. 4. Selon l'ancienneté des lésions

Les résultats selon l'ancienneté de la lésion ont été analysés. Les lésions ont été classées comme "récentes" lorsque le délai entre le traumatisme et la chirurgie était inférieur ou égal à moins de 8 mois, et "anciennes" lorsque le délai était supérieur à 8 mois afin d'avoir des groupes homogènes. Les patients dont le traumatisme n'avait pas été retrouvé, ont été classés dans les lésions anciennes. Ainsi il y avait 11 patients avec une lésion "récente", et 10 patients avec une lésion "ancienne".

On ne retrouvait pas de différence statistiquement significative des critères radiographiques (valeur des angles au dernier contrôle et différence entre les valeurs préopératoires et postopératoires), des mobilités ou des scores fonctionnels.

	Nombre de patients	EVA au repos - à l'effort	F en degrés (en % CL)	E en degrés (en % CL)	IR en degrés (en % CL)	IU en degrés (en % CL)	Force de serrage en kg (en % du côté opposé)	QD	PRWE	Mayo wrist score
Délai entre le traumatisme et la chirurgie < ou = à 8 mois	11	1,4-3,8	52,8 (71,7)	56 (78,3)	20,4 (74,5)	32,5 (82,3)	30.8 (66,6)	28.8	24.7	68.63
Délai entre le traumatisme et la chirurgie >8 mois	10	0,2 - 3,9	41,3 (64,8)	58,5 (81,4)	18 (78,3)	31,5 (89,4)	25 (60,5)	30	23.5	63.8
$p=0,05$	x	0,795 - 0,553	0,149 (0, 752)	0,913 (0, 582)	0,460 (0,766)	0,720 (0,065)	(0,498)	0,679	0,856	0,699

Tableau 13. Analyse en sous groupe selon l'ancienneté de la lésion déterminée par le délai entre le traumatisme et la chirurgie. EVA: douleur selon l'échelle visuelle analogique, F: flexion, E: extension, IR: inclinaison radiale, IU: inclinaison ulnaire, QD: Quickdash; CL: controlatéral

	ASL au dernier suivi (en degrés)	Différence entre ASL préopératoire et postopératoire (en degrés)	ARL au dernier suivi (en degrés)	Différence entre ARL préopératoire et postopératoire (en degrés)	ESL au dernier suivi (en mm)	Différence entre ESL pré opératoire et postopératoire (en mm)	ARS au dernier suivi (en degrés)	Différence entre ARS pré opératoire et postopératoire (en degrés)
Délai entre le traumatisme et la chirurgie < ou = à 8 mois	59,9	-8,9	15,3	-0,13	51,8	-0,8	3,2	-2,1
Délai entre le traumatisme et la chirurgie >8 mois	68,5	-4,4	12,7	-6,23	55,8	-0,9	3,1	-0,6
$p=0,05$	0,4	0,394	0,431	0,710	0,299	0,710	0,402	0,695

Tableau 14. Analyse en sous groupe selon l'ancienneté de la lésion déterminée par le délai entre le traumatisme et la chirurgie. ASL: angles scapho-lunaire, ARL: angle radio-lunaire, ARS: angle radio-scaphoïdien, ESL: espace scapho-lunaire

V. 2. 7. 5. Selon le délai post-opératoire

Une analyse en sous groupe a été réalisée afin d'étudier les résultats en fonction du délai post-opératoire. Un premier groupe était constitué des patients dont le délai

post-opératoire était compris entre 6 mois et 1 an, et un deuxième groupe au-delà d'un an.

On mettait en évidence une différence statistiquement significative concernant les degrés de mobilité en flexion ($p=0,013$), et inclinaison ulnaire ($p=0,014$) en faveur du groupe "supérieur à 1 an". Cette différence n'était pas retrouvée lors de la comparaison de ces mobilités rapportées au côté opposé. On ne retrouvait pas de différence statistiquement significative concernant la douleur au repos tandis qu'il existait une diminution statistiquement significative de la douleur à l'effort ($p=0,016$) dans le groupe "supérieur à un an" (3/10) par rapport au groupe "6 mois à 1 an" (5,1/10). L'analyse de la force de serrage comparativement au côté opposé ne mettait pas en évidence de différence statistiquement significative entre les deux groupes.

A l'analyse des critères radiographiques, on retrouvait une différence statistiquement significative ($p=0,012$) pour la mesure de l'ESL postopératoire, moins importante dans le groupe "supérieur à 1 an" avec 2,7 mm en moyenne par rapport au groupe "entre 6 mois et 1 an" avec 3,7 mm en moyenne. Pour les valeurs au dernier contrôle des angles radio-scaphoïdien, scapho-lunaire et radio-lunaire on ne mettait pas en évidence de différence significative entre les deux groupes. En analysant le degré de correction de chaque critère radiographique entre le préopératoire et le postopératoire, on retrouvait une différence statistiquement significative concernant l'ARL ($p=0,050$) et l'ARS ($p=0,042$) mais pas pour l'ASL ni pour l'ESL. Ainsi l'ARS était mieux réduit dans le groupe "supérieur à 1 an" avec $-4,6^\circ$ contre $-0,4^\circ$ en moyenne

dans le groupe “moins d’un an”, alors que l’ARL était mieux réduit dans le groupe “moins d’un an” avec -1,7° contre 1,6° en moyenne dans le groupe “plus d’un an”. Concernant les scores fonctionnels, on notait de meilleurs scores fonctionnels dans le groupe “plus d’un an” par rapport au groupe “6 mois à un an”: le PRWE moyen dans le groupe “ de 6 mois à 1 an” était de 30,2 contre 18,9 dans le groupe “plus d’un an”, le QuickDASH à 42,4 contre 18,4 et le Mayo Wrist Score moyen à 54,4 contre 78,3. Cependant cette différence n’était pas établie par l’analyse statistique (en raison du manque de puissance de l’effectif).

	Nombre de patients	EVA au repos - à l'effort	F en degrés (en % CL)	E en degrés (en % CL)	IR en degrés (en % CL)	IU en degrés (en % CL)	Force de serrage en kg (en % du côté opposé)	QD	PRWE	Mayo wrist score
Délai postopératoire compris entre 6 mois et 1 an	10	0,6-5,1	39,4 (61,8)	57 (80,5)	16 (72,9)	28 (79,5)	27,2 (64,5)	42,4	30,2	54,4
Délai postopératoire supérieur à 1 an	11	0,1-3	56 (74,5)	58 (79)	22 (80)	36 (83)	34,2 (76,2)	18,4	18,9	78,3
$p=0,05$	x	0,563-0,016	0,013 (0,417)	0,701 (0,415)	0,077 (0,494)	0,014 (0,287)	(0,66)	0,064	0,150	0,113

Tableau 15. Analyse en sous groupe selon la durée de suivi postopératoire. EVA: douleur selon l'échelle visuelle analogique, F: flexion, E: extension, IR: inclinaison radiale, IU: inclinaison ulnaire, QD: QuickDASH; CL: controlatéral

	ASL au dernier suivi (en degrés)	Différence entre ASL pré opératoire et postopératoire (en degrés)	ESL au dernier suivi (en degrés)	Différence entre ESL pré opératoire et postopératoire (en degrés)	ARS au dernier suivi (en mm)	Différence entre ARS pré opératoire et postopératoire (en mm)	ARL au dernier suivi (en degrés)	Différence entre ARL pré opératoire et postopératoire (en degrés)
Délai postopératoire compris entre 6 mois et 1 an	69,3	-7,1	3,7	-1,1	58,3	-0,4	15,5	-1,7
Délai postopératoire supérieur à 1 an	58,07	-7,73	2,7	-0,7	49,6	-4,6	15,2	-1,6
$p=0,05$	0,100	0,521	0,012	0,339	0,136	0,042	0,932	0,050

Tableau 16. Analyse en sous groupe selon le stade d'instabilité scapho-lunaire. ASL: angles scapho-lunaire, ARL: angle radio-lunaire, ARS: angle radio-scaphoïdien, ESL: espace scapho-lunaire

VI. DISCUSSION

VI. 1. TECHNIQUE OPÉRATOIRE

La technique « *internal brace* » de renfort interne par bandelette synthétique est une technique conçue par le Professeur G. Mackay (Glasgow, Écosse) initialement dans les contextes d'instabilité de la cheville avec lésion du ligament talo-fibulaire antérieur. Elle permet de créer un renfort interne sur une réparation ligamentaire à l'aide d'un ligament synthétique de 2 mm de large en polyéthylène à ultra-haut poids moléculaire tressé (FiberTape® Arthrex, Naples, FL) et de deux ancres osseuses sans nœuds (DX SwiveLock® 3,5mm Arthrex, Naples, FL). Le montage permet de jouer le rôle de ceinture de sécurité.

Bien que la description de cette technique soit limitée en chirurgie de la main et du poignet, la littérature récente décrit de nombreuses utilisations en chirurgie orthopédique avec des résultats prometteurs notamment dans des techniques de reconstruction du ligament croisé antérieur du genou, du ligament talo-fibulaire de la cheville, du ligament collatéral ulnaire du coude [28,173–175]. Le FiberTape® (Laboratoire Arthrex, Naples, FL) ayant également montré son intérêt dans les réparations de la coiffe des rotateurs [176–178].

Les études cadavériques rapportent une résistance à la rupture plus importante par rapport aux réparations classiques avec greffon tendineux seul [175,179]. Ainsi il permet de protéger le greffon le temps de son intégration (vascularisation et modelage) tout en permettant une mobilisation précoce sans risque pour la ligamentoplastie en la

protégeant du risque de rupture en postopératoire immédiat et en limitant la détente du greffon au cours du temps [180].

In vivo, chez l'animal [181], il est rapporté une meilleure performance biomécanique de la ligamentoplastie du ligament collatéral antérieur au genou avec le renfort interne par FiberTape® (Laboratoire Arthrex, Naples, FL), (en termes d'élongation, de charge maximale avant rupture, et d'absorption d'énergie) par rapport à une réparation par autogreffe seule. De plus, après analyse histologique, toutes les greffes sont intégrées dans les tunnels osseux et aucune réaction synoviale, ni lésion au niveau du cartilage (confirmé à l'arthroscopie) ne sont retrouvées [182]. Cependant, les analyses histologiques confirment l'absence d'intégration du FiberTape® (Laboratoire Arthrex, Naples, FL) [180].

Son utilisation tend à se développer en chirurgie de la main et du poignet. On retrouve dans la littérature des applications pour la réparation du ligament collatéral ulnaire de l'articulation métacarpo phalangienne du pouce. Les études réalisées mettent en évidence une meilleure résistance du montage par rapport à une suture isolée du ligament [183,184]. La solidité apportée par le montage permet de limiter l'immobilisation en postopératoire et de débiter la rééducation précocement afin d'obtenir une récupération plus rapide [185].

Des études biomécaniques cadavériques ont été réalisées après application de ce principe à la réparation du LSL, notamment par Thompson et *al.* en 2020. L'étude de la charge maximale avant rupture met en évidence une meilleure résistance de l'association réinsertion sur ancre du LSL et renfort par l'"*internal brace*" que la réinsertion sur ancre du LSL seul avec une différence de charge de rupture double (135

N vs 68 N respectivement) [21,22]. Une étude a également été réalisée sur la technique de ligamentoplastie “SLITT 360” (“*scapholunate internal brace 360 tenodesis*”) dont le but est de recréer les portions palmaire et dorsale du LSL [186]. L’analyse de la résistance du montage avec autogreffe seule et avec le renfort par la bandelette synthétique met en évidence une meilleure résistance du montage avec renfort par le FiberTape® (Laboratoire Arthrex, Naples, FL) avec 283N vs 143N.

Park et *al.* [187] ont réalisé une étude cadavérique afin d’étudier le rôle des chaque segment de la ligamentoplastie scapho-lunaire “*all dorsal scapholunate repair*”. L’étude met en évidence que l’association des deux segments oblique long et transversal court permet une meilleure correction du diastasis scapho-lunaire par rapport à chaque segment isolé. De plus, le segment oblique long (entre le lunatum et le pôle distal du scaphoïde) permet également une correction de la subluxation du scaphoïde. Ces données confirment les résultats de notre étude quant à l’amélioration postopératoire des critères radiographiques que sont l’angle scapho-lunaire et l’espace scapho-lunaire pour le stade 4 (cf ci dessous).

En termes de biocompatibilité, il n’existe pas de données sur la tolérance à long terme du Fiber Tape® (Laboratoire Arthrex, Naples, FL). Cependant sur plus de 750 000 Fiber Tape® (Laboratoire Arthrex, Naples, FL) implantés sur près de 9 ans, seules 0,0008% de réactions synoviales ont été signalées, et il ne semble pas exister d’autre effet secondaire décrit actuellement (données issus du laboratoire Arthrex, Naples, FL).

La technique “*internal brace*” présente cependant des limites. Il est à noter que la résistance de ce montage bien que supérieure à celle d’une réparation par réinsertion

seule, n'atteint pas la résistance du ligament scapho-lunaire natif estimé à 260 N d'après Berger *et al.* [188], contre 135 N pour la réinsertion du LSL avec ce renfort interne dans l'étude de Thompson *et al.* [21] ou 90N pour Park *et al.* [22]. La différence de résistance pourrait expliquer le cas de désinsertion d'une ancre du montage survenu chez un patient de notre série dans les suites d'un accident de vélo à faible cinétique.

Type de montage	Seuil de rupture en N
Résistance du ligament natif scapho-lunaire selon Berger (1996) [50]	260
Réinsertion du LSL renforcée par l'"internal brace" selon Thompson <i>et al</i> (2020) [21]	135
Réinsertion du LSL seule selon Thompson <i>et al</i> (2020) [21]	68
Réinsertion du LSL renforcée l'"internal brace" selon Park <i>et al</i> (2020) [22]	98,5
Réinsertion du LSL seul selon Park <i>et al</i> (2020) [22]	37,7

Tableau 17. Données expérimentales des seuils de rupture du ligament scapho-lunaire natif vs sa réparation selon différentes techniques (réinsertion seule ou avec internal brace)

Un risque important dans ce type de montage est également la mise en tension excessive de la bandelette synthétique induisant une pression trop importante au niveau articulaire. Cet excès de tension peut empêcher l'incorporation du greffon autologue car sa mise en tension est nécessaire à son remodelage. De plus la mise en tension est laissée à l'appréciation de l'opérateur.

Les ancres DX SwiveLock® (laboratoire Arthrex) mesurent 3,5mm de diamètre, diamètre relativement important comparé à la taille des os du carpe. Ainsi il existe un risque de fracture au moment de la pose ou de moins bonne tenue chez des patients présentant de l'ostéoporose. La présence de zones d'ostéolyse autour de ces ancres

retrouvées chez près de 49,7% de nos patients permet également de se poser la question sur la taille des ancrés et sur leur biocompatibilité. En effet, un de nos patients (cas 10) a présenté des images de géodes importantes autour des sites d'implantation des ancrés dans le lunatum et le scaphoïde et évolué vers un *SLAC wrist* stade 4. Cela nous laisse penser à un problème de tolérance des ancrés.

Au vu des résultats obtenus, quelques pistes pour une amélioration de la technique peuvent être discutées. Tout d'abord, il serait intéressant de développer des ancrés de taille inférieure notamment de diamètre 2,5mm. Il se pose également la question de l'utilité des broches de protection, en effet les résultats de l'étude mettent en évidence une absence de différence significative quant aux résultats radiographiques entre les patients ayant bénéficié de deux broches contre 1 broche de protection du montage, on peut donc penser qu'une seule broche est déjà suffisante. Pour aller plus loin, en partant du principe que le FiberTape® (Arthrex, Naples, FL) est suffisant pour assurer la stabilité du montage au vu des résultats des études biomécaniques, la nécessité de la broche peut même être remise en question. Un patient (cas 16) a bénéficié d'un montage sans broche et sans autogreffe, avec des résultats cliniques et radiographiques satisfaisants à 6 mois de recul par rapport aux valeurs préopératoires. Les broches peuvent également être une source de complications (infection, rupture de broche, irritation de branches nerveuses), et nécessitent également une deuxième opération pour leur retrait. L'absence d'utilisation de broches dans la technique opératoire permettrait donc une diminution de la morbidité liée au geste. On peut également s'inspirer de l'utilisation du FiberTape® (Laboratoire

Arthrex, Naples, FL) dans les reconstructions du ligament collatéral ulnaire de l'articulation métacarpophalangienne du pouce [183–185]. Dans cette technique, on note l'absence d'immobilisation en post-opératoire pour permettre une récupération plus rapide des amplitudes articulaires en partant du principe que le FiberTape® (Laboratoire Arthrex, Naples, FL) apporte une solidité suffisante à la ligamentoplastie pour éviter sa rupture. Il en va de même avec les ligamentoplasties de cheville où là les résultats à long terme (jusqu'à 4 ans de suivi) sont très encourageants, sans rupture ou détente du montage malgré l'absence d'immobilisation postopératoire [25,189,190]. Se passer d'une immobilisation post opératoire permettrait de limiter les raideurs et d'accélérer la récupération.

Cependant toutes ces pistes ne sont que des hypothèses qui nécessiteraient de plus amples investigations.

VI. 2. RÉSULTATS DE L'ÉTUDE

La technique "*scapho-lunate all dorsal repair*" développée par le Dr Steven S. Shin en collaboration avec le laboratoire Arthrex nous a permis d'obtenir avec un délai moyen de 14,2 mois des résultats cliniques, fonctionnels et radiographiques encourageants.

Concernant la douleur, sur les 21 patients inclus dans l'étude, seuls 14% des patients décrivaient en post opératoire des douleurs au repos. Toutefois, il persistait des douleurs à l'effort chez 95% des patients, d'intensité variable avec une moyenne de

4/10 selon l'EVA. Il ressort également de nos analyses que la douleur à l'effort s'améliore avec l'augmentation du délai postopératoire.

Au dernier recul, les mobilités des patients étaient également satisfaisantes avec un arc de mobilité en flexion extension de 105°, bien que diminuées par rapport au côté opposé puisque correspondant à 68% de la flexion du poignet controlatéral et 80% de l'extension du poignet controlatéral en moyenne. Concernant l'inclinaison ulnaire et radiale, une légère diminution était également présente comparée au côté controlatéral avec respectivement 82% et 77%. Les mobilités obtenues grâce à cette technique de ligamentoplastie sont bien au-dessus des limites fixées par Ryu *et al.* [191] pour permettre la réalisation des actes de la vie quotidienne (estimées à 40° en flexion, 40° en extension, et 40° d'arc de mobilité en inclinaisons ulnaire et radiale). En revanche, les mobilités ne semblent pas s'améliorer avec l'augmentation du délai postopératoire d'après nos résultats.

La force de poigne restait quant à elle diminuée par rapport au côté opposé avec une moyenne à 65% de la force de serrage du poignet opposé. On note cependant une tendance à l'amélioration avec l'augmentation du délai postopératoire, sans différence statistiquement significative.

Au regard des scores fonctionnels, les scores étaient relativement corrects pour le PRWE et le QuickDASH à 24 et 29,2/100 en moyenne, alors que le Mayo Wrist Score retrouvait des résultats plus mitigés avec 7 résultats classés comme mauvais, 4 moyens, 9 bons et excellents. On note une tendance à l'amélioration de ces scores fonctionnels avec l'augmentation du délai post opératoire sans différence

statistiquement significative. Malgré les résultats mitigés du Mayo Wrist Score, 81% des patients étaient satisfaits de l'intervention.

Concernant les critères radiographiques, on remarque une amélioration statistiquement significative de l'ASL, et du diastasis scapho-lunaire en postopératoire par rapport au préopératoire en faveur d'une réduction efficace. L'absence d'amélioration statistiquement significative de l'angle radio-scaphoïdien peut s'expliquer par l'inclusion des instabilités scapho-lunaires stade 3 de la classification de Garcia Elias chez qui il n'existe en théorie pas de bascule du scaphoïde et donc pas de nécessité de réduction. Les angles moyens obtenus au dernier suivi sont à la limite de la normale avec notamment un ASL moyen estimé à 64° , un ARL moyen à $15,3^{\circ}$ et un ARS moyen à 54° (pour rappel on parle de DISI pour un ASL supérieur à 70° et un ARL supérieur à 15° ainsi que d'horizontalisation du scaphoïde pour un ARS supérieur à 60°). La valeur moyenne postopératoire de l'espace scapho-lunaire de 3,2 mm est en faveur de la persistance d'un diastasis scapho-lunaire. L'analyse des critères radiographiques selon le délai post-opératoire ne met pas en évidence de détérioration de ces angles et de l'espace scapho-lunaire avec l'augmentation du délai post-opératoire. Cependant malgré ce résultat encourageant, on ne peut pas conclure sur une absence de détente du montage avec un délai de suivi moyen de 14,2 mois; il faudrait pour cela poursuivre l'étude sur une durée de plusieurs années afin d'attester ou non de l'absence de modification des critères radiographiques avec le temps. A l'analyse des critères radiographiques selon le stade de Garcia Elias, les faibles valeurs de réduction des angles entre le préopératoire et le postopératoire pour le stade 3, sont logiques puisque d'après la définition de Garcia Elias, il n'existe pas de bascule du

scaphoïde et du lunatum à ce stade, donnée confirmée par les valeurs moyennes des angles radio-lunaire, radio-scaphoïdien et scapho-lunaire en préopératoire dans le groupe "stade 3". Ainsi la technique « *all dorsal scapholunate repair* » permet de pérenniser la stabilité et la position de ces deux os dans les stades 3 après chirurgie. Au contraire, on retrouvait une correction des angles plus importante dans le stade 4, puisqu'il est défini par une bascule du scaphoïde et du lunatum. Il était donc logique d'obtenir une meilleure réduction des critères radiographiques dans les stades 4 que les stades 3. Cette technique permet donc de corriger efficacement la bascule du scaphoïde et du lunatum et de maintenir cette réduction à 14,2 mois de recul.

Sur le plan socio-économique, avec près de 76% de reprise de l'activité professionnelle dans un délai moyen de 5,2 mois en moyenne (sachant que le travail contre résistance est introduit à 3 mois postopératoire), cette technique permet une reprise de l'activité professionnelle, dans un délai correct. Les lésions survenues dans un contexte d'accident du travail présentaient des résultats fonctionnels moins bons sans qu'il n'existe de différence statistiquement significative. Le délai de reprise de l'activité professionnelle était plus long en cas d'accident de travail et l'absence de reprise également plus importante. On peut en conclure que le contexte d'accident du travail semble être un facteur de moins bon pronostic fonctionnel et socio-économique avec un retard de reprise du travail.

Après analyse en sous- groupe, le délai entre le traumatisme et la chirurgie ainsi que le nombre de broches n'ont aucune influence sur les résultats cliniques, radiographiques et fonctionnels. L'absence de différence entre les montages à 1 et 2

broches permet de conclure que la mise en place d'une seule broche de protection est suffisante pour assurer la stabilité du montage.

VI. 3. REVUE DE LA LITTÉRATURE

De nombreuses techniques de ligamentoplasties ont été élaborées pour prendre en charge les ISL chroniques réductibles sans lésions cartilagineuses, les plus courantes ont été développées précédemment. Plusieurs études cliniques rapportent les résultats de ces techniques (tableau 18), notamment celle de Brunelli modifiée [19,192–198], de la triple ligamentoplastie [135,166,199], de la SLIC version 2 [148], de la SLAM (*scapho-lunate axis method*) [200], d'une ligamentoplastie à partir d'un court extenseur radial du carpe [201] ou de la SLITT (*scapho-lunate internal brace 360 tenodesis*) [186]. En comparant les résultats de ces différentes études aux résultats de notre étude, on retrouve des résultats similaires et encourageants.

Concernant la mobilité, l'extension moyenne à 58° dans notre étude reste plus élevée que l'ensemble des autres séries exceptée celle de Papadogeorgou *et al.* (ligamentoplastie avec un hémi ECRB) [195] qui rapporte une extension moyenne à 70°. Nos résultats concernant la flexion du poignet (moyenne de 46°) sont légèrement inférieurs aux autres séries [154, 123, 164] qui rapportent respectivement en moyenne 51°, 52° et 53°. Cependant selon l'arc de flexion-extension, les patients ayant bénéficié de la technique "*all dorsal scapholunate repair*" présentent un arc de flexion-extension de 105° en moyenne. Hors seule la technique de ligamentoplastie à partir de l'ECRB [195] permet d'obtenir un arc plus important à 112°. Les mobilités en inclinaison radiale

sont supérieures dans notre étude avec 19,2° comparativement à celles des autres séries [117, 190, 195] excepté celle de Chabas *et al.* [19] avec 24°. Pour l'inclinaison ulnaire, notre étude retrouve une mobilité à 32° en moyenne, comparable à celles obtenues dans les autres séries [195, 194, 188].

La comparaison concernant la douleur est plus difficile car dans la plupart des études il n'est pas spécifié s'il s'agit de la douleur au repos ou à l'effort. Par rapport aux études où cette différence est énoncée c'est-à-dire les séries d'Athlani *et al.* et Dolderer *et al.* [29,200], notre technique permet d'obtenir une meilleure indolence du poignet opéré au repos, mais cela n'est pas le cas à l'effort. Cependant cette observation peut être relativisée dans le sens où les études citées ont un délai post opératoire de 21 et 22 mois en moyenne contre 14,2 mois dans notre étude sachant que la douleur à l'effort semble s'améliorer dans le temps.

Pour les critères radiographiques, nos résultats sont similaires [29,195,197,199] voire meilleurs [135,198,200] que ceux d'autres études où l'angle scapho-lunaire varie de 62 [19,29] à 77° [198] alors que dans notre série, l'angle scapho-lunaire moyen au dernier suivi était de 64° en moyenne (70,9° en préopératoire). En revanche, de meilleurs résultats ont été obtenus dans les séries sur la technique de Brunelli modifiée de Van Den Abbeele *et al.* [192], de Moran *et al.* [194], et de Links *et al.* [196] avec respectivement 50°, 54° et 46°. La mesure de l'espace scapho-lunaire est moins bonne avec un espace scapho-lunaire moyen à 3,2 mm au dernier suivi en faveur de la persistance d'un diastasis scapho-lunaire. Si ces résultats sont comparables à ceux de Athlani *et al.* [135], et Elgammal *et al.* [198] avec 3,7 et 3,3 mm, de meilleurs résultats

ont été obtenus dans les séries d'Athlani *et al.* [29], Moran *et al.* [194], Chabas *et al.* [19], Links *et al.* [196] et Ellanti *et al.* [197] (tableau 18).

Les scores fonctionnels de notre série (QuickDASH à 29,2) sont assez similaires aux autres études [19,135,196,197,199] à savoir les séries de Links *et al.* et Kalb *et al.* avec 25, d'Athlani *et al.* avec 31,3, de Chabas *et al.* avec 30, et d'Ellanti *et al.* avec 34,9. Seules les séries de El Gammal *et al.* [198], De Smet *et al.* [195] et Papadogeorgou *et al.*[201] ont obtenu de meilleurs scores de QuickDASH avec respectivement 20, 12 et 22. Nos résultats concernant le *Mayo Wrist Score* sont assez décevants (7 mauvais, 4 moyens, 4 bons et 5 excellents). En comparaison, Papadogorgeou *et al.* [195] rapportent 16 excellents résultats, 8 bons, 3 moyens et 5 mauvais. Cependant nos résultats restent comparables à ceux de la série de Elgammal *et al.* [191] (tableau 19). Si nous rapportons des résultats objectifs décevants selon le *Mayo Wrist Score*, la satisfaction, subjective, de nos patients est rassurante avec près de 81% de patients satisfaits ou très satisfaits. Les différentes séries de la littérature retrouvent un taux de satisfaction de 79% [193] à 80%[19]. Cependant, sachant que le délai moyen de suivi dans l'étude de Chabas *et al.* [19] était de 37 mois, alors qu'il n'était que de 14,2 mois dans notre étude, on peut espérer une amélioration du *Mayo Wrist Score* dans le temps au vu de la tendance à l'amélioration des scores fonctionnels avec l'augmentation du délai postopératoire décrite précédemment.

Ainsi notre technique de ligamentoplastie scapho-lunaire permet d'obtenir de meilleures mobilités en extension et en inclinaison radiale par rapport aux autres techniques, et des mobilités en flexion et inclinaison ulnaires comparables ou supérieures à la moyenne des autres séries présentées dans le tableau 18. Si notre

technique montre une douleur à l'effort supérieure aux autres séries, son évaluation à distance devrait être en faveur d'une amélioration. A court terme, la douleur au repos est améliorée. La réduction de l'angle scapho-lunaire est comparable à la plupart des autres séries. Cependant, la réduction de l'espace scapho-lunaire semble plus décevante. Nos scores fonctionnels montrent des résultats comparables aux autres séries concernant le QuickDASH et le PWRE, mais un *Mayo Wrist Score* moins bon. En revanche, la satisfaction de nos patients est encourageante et comparable aux autres séries.

Avec un recul moyen de 14,2 mois, notre série est une évaluation à court terme par rapport à d'autres séries dont le recul varie de 9 à 55 mois [192,193], et une évaluation à distance permettrait probablement d'obtenir de meilleurs scores fonctionnels et une amélioration de la douleur à l'effort, avec espérons-le une stabilité des valeurs radiologiques. Il est important de préciser que les comparaisons réalisées ci dessus ne sont que des suppositions, une étude comparative serait nécessaire afin de valider ces informations.

	Technique de ligamentoplastie	N	Durée de suivi (en mois)	Douleur selon l'EVA	Flexion	Extension	Arc de mobilité en flexion extension	IR	IU	Force (en kg ou % du côté opposé)	SLA post opératoire (et pré opératoire)	SLG post opératoire (et pré opératoire)	Scores fonctionnels
Notre étude	All dorsal scapho-lunate repair	21	14,2	0,1-4	47	58	105	19,2	32	35 kg 65 % CL	64 (70,9)	3,2 (4,1)	- QD 29,2 - PRWE 24 - Mayo: 67,8; 7 pauvres, 4 corrects, 4 bons, 5 excellents - 81% de satisfaction
Van Den Abbeele (1998) [192]	Technique de Brunelli modifiée	22	9	3	42	49	91	19	30	58% CL	50 (50)	x	x
Talwalkar (2006) [193]	Technique de Brunelli modifiée	55	48	62% entre 0 et 3	46,5	55,7	102,2	17,5	29	80% CL	x	x	- satisfaction: 79%
Moran (2006) [194]	Technique de Brunelli modifiée	15	36	27% entre 0 et 3	40	43	83	16	26	87% CL	54 (82)	2,6 (4,3)	- mayo: 74
Garcia Elias (2006) [166]	Triple ligamentoplastie	38	46	95% entre 0 et 3	51	52	103	15	29	65% CL	x	x	x
De Smet and Van Hoonacker (2007) [195]	Technique de Brunelli modifiée	10	29	90% entre 0 et 3	49	48	97	17	34	77% CL	x	x	- QD 12 - PRWE 26
Chabas (2008) [19]	Technique de Brunelli modifiée	19	37	79% entre 0 et 3	41	50	91	24	29	78% CL	62 (61 pre)	2,4 (2,8)	- satisfaction 80% - 30 QD
Links (2008) [196]	Technique de Brunelli modifiée	21	30	2	45	55	100	13	21	98% CL	46 (61)	2,2 (3,9)	- QD 25
Kalb (2009) [199]	Triple ligamentoplastie	14	10,5	2,8	35	53	88	x	x	80% CL	64 (73)	3,3 (3,6)	- QD 25

Papadogeorgou et Mathoulin (2010) [201]	ECRB	32	50	75% entre 0 et 3	42	70	112	22	32	86% CL	<60° 23 cas	x	- QD 22 - Mayo: 16 excellents, 8 bons, 3 corrects, 5 faibles
Ellanti (2014) [197]	Technique de Brunelli modifiée	13	12	1,5	38	56	84	20	20	75% CL	63 (61)	2,8 (2,8)	- QD 34,9
ELgammal and Lukas (2015) [198]	Technique de Brunelli modifiée	20	24	3	41	54	95	19	31	81% CL	77 (82)	3 (4)	- QD 20 - mayo: 7 excellents, 2 bons, 8 corrects, 2 faibles
Athlani (2018) [135]	Triple ligamentoplastie	20	25	1,6	39	43	82	14	24	76% CL	75 (72)	3,7 (3,9)	- QD 31,3
Athlani (2021) [29]	SLIC version 2	21	27	0,6 au repos - 2 à l'effort	52	48	100	14	30	42 kg	62 (76)	2,3 (4,3)	x
Dolderer (2019) [200]	SLAM = scapho-lunate axis method	22	12	0,57 au repos - 2,6 à l'effort	53	18	71	18	32	70%	75,6 (76,6)	x	- QD: 48 - Mayo: 62,7

Tableau 18. Comparaison des résultats de techniques de ligamentoplasties en termes de douleur, de mobilités, de force de serrage, de critères radiographiques et de scores fonctionnels (N=nombre de patients, IR: inclinaison radiale, IU: inclinaison ulnaire, CL: controlatéral, SLA: angle scapho-lunaire, SLG: espace scapho-lunaire; en rouge: valeurs supérieures à celles des autres études présentées dans le tableau. QD: QuickDASH

VI. 4. LIMITES DE L'ÉTUDE

Cette étude présente certaines limites. Il s'agit d'une étude de niveau 4 de preuve scientifique puisqu'il s'agit d'une étude rétrospective. La puissance de cette étude reste faible du fait d'un effectif limité à 21 patients et d'une durée de suivi assez courte (14,2 mois en moyenne) étant donné la description récente de la technique. L'interprétation des résultats de cette étude est limitée par l'absence de groupe contrôle ayant bénéficié d'une autre technique de ligamentoplastie scapho-lunaire afin d'attester d'une supériorité ou non de cette technique par rapport à une autre. Une étude prospective randomisée serait intéressante. Les données préopératoires (mobilités, scores fonctionnels) étant manquantes, nous n'avons pas pu juger d'une amélioration clinique entre le préopératoire et le postopératoire en dehors de la satisfaction du patient. Concernant les données radiographiques avec le calcul des angles, il existe une variabilité intra-opérateur sur l'évaluation des angles radio-lunaire, scapho-lunaire et radio-scaphoïdien et de l'espace scapho-lunaire. Afin de pouvoir conclure de manière plus formelle sur les résultats de cette technique, il serait intéressant de réaliser une étude randomisée prospective en comparant les résultats de cette technique de ligamentoplastie scapho-lunaire à une autre technique de ligamentoplastie sur une durée de suivi plus longue et un échantillon de patient plus important.

VII. CONCLUSION

La technique « *all Dorsal Scapho-Lunate Repair* » développée par le Dr Steven S. Shin en collaboration avec le laboratoire Arthrex est une technique récente de ligamentoplastie scapho-lunaire indiquée pour les stades 3 et 4 de la classification de Garcia Elias. Nos résultats cliniques et fonctionnels à court terme sont encourageants, et comparables aux autres techniques de ligamentoplastie scapho-lunaire. En revanche, nos résultats radiographiques sont plus limités avec la persistance d'un diastasis scapho-lunaire et des angles intra et radio carpiens dans les limites du DISI et de la subluxation dorsale du scaphoïde. Il serait intéressant aux vues des résultats obtenus de réaliser une étude comparative avec une autre technique de ligamentoplastie scapho-lunaire afin d'établir ou non la supériorité de cette technique et d'évaluer les résultats de notre technique à long terme en espérant une amélioration de certains critères cliniques et fonctionnels avec le temps et une pérennisation des critères radiologiques. De plus, certaines inquiétudes quant aux cas d'ostéolyse autour des zones d'implantation des ancrés ou l'absence d'intégration de la bandelette synthétique sont à réévaluer à distance. Ces résultats nous invitent également à vouloir faire évoluer la technique notamment en retirant la notion de broche de stabilisation, ou encore la diminution voire le retrait de l'immobilisation en postopératoire.

VIII. BIBLIOGRAPHIE

1. Taleisnik J. Current concepts review. Carpal instability. *J Bone Joint Surg Am.* 1988;70: 1262–1268.
2. Kuo CE, Wolfe SW. Scapholunate instability: current concepts in diagnosis and management. *J Hand Surg Am.* 2008;33: 998–1013.
3. Linscheid RL, Dobyns JH, Beabout JW, Bryan RS. Traumatic instability of the wrist. Diagnosis, classification, and pathomechanics. *J Bone Joint Surg Am.* 1972;54: 1612–1632.
4. Jones WA. Beware the sprained wrist. The incidence and diagnosis of scapholunate instability. *J Bone Joint Surg Br.* 1988;70: 293–297.
5. Chennagiri RJR, Lindau TR. Assessment of scapholunate instability and review of evidence for management in the absence of arthritis. *J Hand Surg Eur Vol.* 2013;38: 727–738.
6. Andersson JK. Treatment of scapholunate ligament injury: Current concepts. *EFORT Open Rev.* 2017;2: 382–393.
7. Watson HK, Ballet FL. The SLAC wrist: scapholunate advanced collapse pattern of degenerative arthritis. *J Hand Surg Am.* 1984;9: 358–365.
8. Kawamura K, Chung KC. Management of wrist injuries. *Plast Reconstr Surg.* 2007;120: 73e–89e.
9. Larsen CF, Amadio PC, Gilula LA, Hodge JC. Analysis of carpal instability: I. Description of the scheme. *J Hand Surg Am.* 1995;20: 757–764.
10. Kitay A, Wolfe SW. Scapholunate instability: current concepts in diagnosis and management. *J Hand Surg Am.* 2012;37: 2175–2196.
11. Mullikin I, Srinivasan RC, Bagg M. Current Techniques in Scapholunate Ligament Reconstruction. *Orthop Clin North Am.* 2020;51: 77–86.
12. Wang P, Stepan JG, An T, Osei DA. Equivalent Clinical Outcomes Following Favored Treatments of Chronic Scapholunate Ligament Tear. *HSS J.* 2017;13: 186–193.
13. Rohman EM, Agel J, Putnam MD, Adams JE. Scapholunate interosseous ligament injuries: a retrospective review of treatment and outcomes in 82 wrists. *J Hand Surg Am.* 2014;39: 2020–2026.
14. Walsh JJ, Berger RA, Cooney WP. Current status of scapholunate interosseous ligament injuries. *J Am Acad Orthop Surg.* 2002;10: 32–42.
15. Moran SL, Cooney WP, Berger RA, Strickland J. Capsulodesis for the treatment of chronic scapholunate instability. *J Hand Surg Am.* 2005;30: 16–23.

16. Schweizer A, Steiger R. Long-term results after repair and augmentation ligamentoplasty of rotatory subluxation of the scaphoid. *J Hand Surg Am.* 2002;27: 674–684.
17. Pappou IP, Basel J, Deal DN. Scapholunate ligament injuries: a review of current concepts. *Hand .* 2013;8: 146–156.
18. Gajendran VK, Peterson B, Slater RR Jr, Szabo RM. Long-term outcomes of dorsal intercarpal ligament capsulodesis for chronic scapholunate dissociation. *J Hand Surg Am.* 2007;32: 1323–1333.
19. Chabas J-F, Gay A, Valenti D, Guinard D, Legre R. Results of the modified Brunelli tenodesis for treatment of scapholunate instability: a retrospective study of 19 patients. *J Hand Surg Am.* 2008;33: 1469–1477.
20. Nienstedt F. Treatment of static scapholunate instability with modified Brunelli tenodesis: results over 10 years. *J Hand Surg Am.* 2013;38: 887–892.
21. Thompson RG, Dustin JA, Roper DK, Kane SM, Lourie GM. Suture Tape Augmentation for Scapholunate Ligament Repair: A Biomechanical Study. *J Hand Surg Am.* 2021;46: 36–42.
22. Park I-J, Maniglio M, Shin SS, Lim D, McGarry MH, Lee TQ. Internal Bracing Augmentation for Scapholunate Interosseous Ligament Repair: A Cadaveric Biomechanical Study. *J Hand Surg Am.* 2020;45: 985.e1–985.e9.
23. Maffulli N, Ferran NA. Management of acute and chronic ankle instability. *J Am Acad Orthop Surg.* 2008;16: 608–615.
24. Viens NA, Wijdicks CA, Campbell KJ, Laprade RF, Clanton TO. Anterior talofibular ligament ruptures, part 1: biomechanical comparison of augmented Broström repair techniques with the intact anterior talofibular ligament. *Am J Sports Med.* 2014;42: 405–411.
25. Yoo J-S, Yang E-A. Clinical results of an arthroscopic modified Brostrom operation with and without an internal brace. *J Orthop Traumatol.* 2016;17: 353–360.
26. Wilson WT, Hopper GP, Byrne PA, MacKay GM. Repair of the ulnar collateral ligament of the elbow with internal brace augmentation: a 5-year follow-up. *BMJ Case Rep.* 2018;11. doi:10.1136/bcr-2018-227113
27. Dugas JR, Walters BL, Beason DP, Fleisig GS, Chronister JE. Biomechanical Comparison of Ulnar Collateral Ligament Repair With Internal Bracing Versus Modified Jobe Reconstruction. *Am J Sports Med.* 2016;44: 735–741.
28. Lubowitz JH, MacKay G, Gilmer B. Knee medial collateral ligament and posteromedial corner anatomic repair with internal bracing. *Arthrosc Tech.* 2014;3: e505–8.
29. Athlani L, Pauchard N, Dautel G. Intercarpal ligamentoplasty for scapholunate dissociation: comparison of two techniques. *J Hand Surg Eur Vol.* 2021;46: 278–285.
30. Viegas SF. The lunatohamate articulation of the midcarpal joint. *Arthroscopy.* 1990;6: 5–10.
31. Rajan PV, Day CS. Scapholunate Interosseous Ligament Anatomy and Biomechanics. *J*

- Hand Surg Am. 2015;40: 1692–1702.
32. Nakamura K, Patterson RM, Moritomo H, Viegas SF. Type I versus type II lunates: Ligament anatomy and presence of arthrosis. *J Hand Surg Am.* 2001;26: 428–436.
 33. Haase SC, Berger RA, Shin AY. Association between lunate morphology and carpal collapse patterns in scaphoid nonunions. *J Hand Surg Am.* 2007;32: 1009–1012.
 34. Galley I, Bain GI, McLean JM. Influence of lunate type on scaphoid kinematics. *J Hand Surg Am.* 2007;32: 842–847.
 35. Rhee PC, Moran SL, Shin AY. Association between lunate morphology and carpal collapse in cases of scapholunate dissociation. *J Hand Surg Am.* 2009;34: 1633–1639.
 36. Bain GI, Clitherow HDS, Millar S, Fraysse F, Costi JJ, Eng K, et al. The effect of lunate morphology on the 3-dimensional kinematics of the carpus. *J Hand Surg Am.* 2015;40: 81–9.e1.
 37. Taleisnik J. The ligaments of the wrist. *J Hand Surg Am.* 1976;1: 110–118.
 38. Laulan J. [Rotatory subluxation of the scaphoid: pathology and surgical management]. *Chir Main.* 2009;28: 192–206.
 39. Van Overstraeten L, Camus EJ. The role of extrinsic ligaments in maintaining carpal stability - A prospective statistical analysis of 85 arthroscopic cases. *Hand Surg Rehabil.* 2016;35: 10–15.
 40. Shahabpour M, Staelens B, Van Overstraeten L, De Maeseneer M, Boulet C, De Mey J, et al. Advanced imaging of the scapholunate ligamentous complex. *Skeletal Radiol.* 2015;44: 1709–1725.
 41. Feipel V, Rooze M. The capsular ligaments of the wrist: morphology, morphometry and clinical applications. *Surg Radiol Anat.* 1999;21: 175–180.
 42. Richard A, Berger JMFL. The Palmar Radiocarpal Ligaments: A Study of Adult and Fetal Human Wrist Joints. *Iowa Orthop J.* 1985;5: 32.
 43. Berger RA. The anatomy of the ligaments of the wrist and distal radioulnar joints. *Clin Orthop Relat Res.* 1976. Available: https://journals.lww.com/corr/fulltext/2001/02000/the_anatomy_of_the_ligaments_of_the_wrist_and.6.aspx
 44. Timins ME, Jahnke JP, Krah SF, Erickson SJ, Carrera GF. MR imaging of the major carpal stabilizing ligaments: normal anatomy and clinical examples. *Radiographics.* 1995;15: 575–587.
 45. Mayfield JK, Johnson RP, Kilcoyne RF. The ligaments of the human wrist and their functional significance. *Anat Rec.* 1976;186: 417–428.
 46. Kauer JM. Functional anatomy of the wrist. *Clin Orthop Relat Res.* 1980; 9–20.
 47. Ruby LK, An KN, Linscheid RL, Cooney WP 3rd, Chao EY. The effect of scapholunate

- ligament section on scapholunate motion. *J Hand Surg Am.* 1987;12: 767–771.
48. Drewniany JJ, Palmer AK, Flatt AE. The scaphotrapezial ligament complex: an anatomic and biomechanical study. *J Hand Surg Am.* 1985;10: 492–498.
 49. Kijima Y, Viegas SF. Wrist anatomy and biomechanics. *J Hand Surg Am.* 2009;34: 1555–1563.
 50. Berger RA. The gross and histologic anatomy of the scapholunate interosseous ligament. *J Hand Surg Am.* 1996;21: 170–178.
 51. Moritomo H, Viegas SF, Nakamura K, Dasilva MF, Patterson RM. The scapho-trapezio-trapezoidal joint. Part 1: An anatomic and radiographic study. *J Hand Surg Am.* 2000;25: 899–910.
 52. Pulos N, Bozentka DJ. Carpal Ligament Anatomy and Biomechanics. *Hand Clin.* 2015;31: 381–387.
 53. Tang JB, Ryu J, Omokawa S, Wearden S. Wrist kinetics after scapholunate dissociation: the effect of scapholunate interosseous ligament injury and persistent scapholunate gaps. *J Orthop Res.* 2002;20: 215–221.
 54. Viegas SF, Yamaguchi S, Boyd NL, Patterson RM. The dorsal ligaments of the wrist: anatomy, mechanical properties, and function. *J Hand Surg Am.* 1999;24: 456–468.
 55. Elsaidi GA, Ruch DS, Kuzma GR, Smith BP. Dorsal wrist ligament insertions stabilize the scapholunate interval: cadaver study. *Clin Orthop Relat Res.* 2004; 152–157.
 56. Mizuseki T, Ikuta Y. The dorsal carpal ligaments: their anatomy and function. *J Hand Surg Br.* 1989;14: 91–98.
 57. Mitsuyasu H, Patterson RM, Shah MA, Buford WL, Iwamoto Y, Viegas SF. The role of the dorsal intercarpal ligament in dynamic and static scapholunate instability. *J Hand Surg Am.* 2004;29: 279–288.
 58. Camus EJ, Millot F, Larivière J, Rtaimate M, Raoult S. [The double-cup carpus: a demonstration of the variable geometry of the carpus]. *Chir Main.* 2008;27: 12–19.
 59. Sennwald G, Segmüller G. Base anatomique d'un nouveau concept de stabilité du carpe. *Int Orthop.* 1986;10: 25–30.
 60. Savelberg HH, Kooloos JG, De Lange A, Huiskes R, Kauer JM. Human carpal ligament recruitment and three-dimensional carpal motion. *J Orthop Res.* 1991;9: 693–704.
 61. Tommasini Carrara de Sambuy M, Burgess TM, Cambon-Binder A, Mathoulin CL. The Anatomy of the Dorsal Capsulo-Scapholunate Septum: A Cadaveric Study. *J Wrist Surg.* 2017;6: 244–247.
 62. Van Overstraeten L, Camus EJ, Wahegaonkar A, Messina J, Tandara AA, Binder AC, et al. Anatomical Description of the Dorsal Capsulo-Scapholunate Septum (DCSS)-Arthroscopic Staging of Scapholunate Instability after DCSS Sectioning. *J Wrist Surg.* 2013;2: 149–154.

63. Mathoulin C, Merlini L, Taleb C. Scapholunate injuries: challenging existing dogmas in anatomy and surgical techniques. *J Hand Surg Eur Vol.* 2021;46: 5–13.
64. Ruby LK. Wrist biomechanics. *Instr Course Lect.* 1992;41: 25–32.
65. Salva-Coll G, Garcia-Elias M, Leon-Lopez MT, Llusà-Perez M, Rodríguez-Baeza A. Effects of forearm muscles on carpal stability. *J Hand Surg Eur Vol.* 2011;36: 553–559.
66. Salva-Coll G, Garcia-Elias M, Leon-Lopez MM, Llusà-Perez M, Rodríguez-Baeza A. Role of the extensor carpi ulnaris and its sheath on dynamic carpal stability. *J Hand Surg Eur Vol.* 2012;37: 544–548.
67. León-López MM, García-Elías M, Salvà-Coll G, Llusà-Perez M, Lluch-Bergadà A. [Muscular control of scapholunate instability. An experimental study]. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol.* 2014;58: 11–18.
68. Salvà-Coll G, Garcia-Elias M, Llusà-Pérez M, Rodríguez-Baeza A. The role of the flexor carpi radialis muscle in scapholunate instability. *J Hand Surg Am.* 2011;36: 31–36.
69. Esplugas M, Garcia-Elias M, Lluch A, Llusà Pérez M. Role of muscles in the stabilization of ligament-deficient wrists. *J Hand Ther.* 2016;29: 166–174.
70. Jantea CL, An K-N, Linscheid RL, Cooney WP. The Role of the Scapho — Trapezial — Trapezoidal Ligament Complex on Scaphoid Kinematics. In: Schuind F, An KN, Cooney WP, Garcia-Elias M, editors. *Advances in the Biomechanics of the Hand and Wrist.* Boston, MA: Springer US; 1994. pp. 345–361.
71. Salva-Coll G, Garcia-Elias M, Lluch-Bergada A, Esplugas M, Llusà-Perez M. Kinetic dysfunction of the wrist with chronic scapholunate dissociation. A cadaver study. *Clin Biomech.* 2020;77: 105046.
72. Camus E, Van Overstraeten L. *La chirurgie ligamentaire du carpe avant l'arthrose.* Sauramps médical; 2009.
73. Mesplíe G. *Instabilités du carpe chez le sportif.* academia.edu. Available: https://www.academia.edu/download/54298405/mesplie_promanu_1_2017.pdf
74. Hagert E, Persson JKE, Werner M, Ljung B-O. Evidence of wrist proprioceptive reflexes elicited after stimulation of the scapholunate interosseous ligament. *J Hand Surg Am.* 2009;34: 642–651.
75. Kobayashi M, Garcia-Elias M, Nagy L, Ritt MJ, An KN, Cooney WP, et al. Axial loading induces rotation of the proximal carpal row bones around unique screw-displacement axes. *J Biomech.* 1997;30: 1165–1167.
76. Hagert E, Ljung B-O, Forsgren S. General innervation pattern and sensory corpuscles in the scapholunate interosseous ligament. *Cells Tissues Organs.* 2004;177: 47–54.
77. Mataliotakis G, Doukas M, Kostas I, Lykissas M, Batistatou A, Beris A. Sensory innervation of the subregions of the scapholunate interosseous ligament in relation to their structural composition. *J Hand Surg Am.* 2009;34: 1413–1421.

78. Hagert E, Forsgren S, Ljung B-O. Differences in the presence of mechanoreceptors and nerve structures between wrist ligaments may imply differential roles in wrist stabilization. *J Orthop Res.* 2005;23: 757–763.
79. Hagert E, Lluch A, Rein S. The role of proprioception and neuromuscular stability in carpal instabilities. *J Hand Surg Eur Vol.* 2016;41: 94–101.
80. Short WH, Werner FW, Green JK, Sutton LG, Brutus JP. Biomechanical evaluation of the ligamentous stabilizers of the scaphoid and lunate: part III. *J Hand Surg Am.* 2007;32: 297–309.
81. Short WH, Werner FW, Green JK, Masaoka S. Biomechanical evaluation of the ligamentous stabilizers of the scaphoid and lunate: Part II. *J Hand Surg Am.* 2005;30: 24–34.
82. Short WH, Werner FW, Green JK, Masaoka S. Biomechanical evaluation of ligamentous stabilizers of the scaphoid and lunate. *J Hand Surg Am.* 2002;27: 991–1002.
83. Werner FW, Short WH, Green JK. Changes in patterns of scaphoid and lunate motion during functional arcs of wrist motion induced by ligament division. *J Hand Surg Am.* 2005;30: 1156–1160.
84. Fisk GR. Carpal instability and the fractured scaphoid. *Ann R Coll Surg Engl.* 1970;46: 63–76.
85. Navarro A. Luxaciones del carpo. *Anales de la Facultad de Medicina.* 1921. pp. 113–141.
86. Rainbow MJ, Wolff AL, Crisco JJ, Wolfe SW. Functional kinematics of the wrist. *J Hand Surg Eur Vol.* 2016;41: 7–21.
87. Destot É. The Classic: Injuries of the Wrist: A Radiological Study. *Clin Orthop Relat Res.* 1986;202: 3–11.
88. Craigen MA, Stanley JK. Wrist kinematics. Row, column or both? *J Hand Surg Br.* 1995;20: 165–170.
89. Lichtman DM, Schneider JR, Swafford AR, Mack GR. Ulnar midcarpal instability—Clinical and laboratory analysis. *J Hand Surg Am.* 1981;6: 515–523.
90. Berger RA. The anatomy and basic biomechanics of the wrist joint. *J Hand Ther.* 1996;9: 84–93.
91. Wolfe SW, Neu C, Crisco JJ. In vivo scaphoid, lunate, and capitate kinematics in flexion and in extension. *J Hand Surg Am.* 2000;25: 860–869.
92. de Lange A, Kauer JM, Huiskes R. Kinematic behavior of the human wrist joint: a roentgen-stereophotogrammetric analysis. *J Orthop Res.* 1985;3: 56–64.
93. Garcia-Elias M. Kinetic analysis of carpal stability during grip. *Hand Clin.* 1997;13: 151–158.
94. Feipel V, Rooze M. Three-dimensional motion patterns of the carpal bones: an in vivo study

- using three-dimensional computed tomography and clinical applications. *Surg Radiol Anat.* 1999;21: 125–131.
95. Moojen TM, Snel JG, Ritt MJPF, Venema HW, Kauer JMG, Bos KE. In vivo analysis of carpal kinematics and comparative review of the literature. *J Hand Surg Am.* 2003;28: 81–87.
 96. Moojen TM, Snel JG, Ritt MJPF, Kauer JMG, Venema HW, Bos KE. Three-dimensional carpal kinematics in vivo. *Clin Biomech.* 2002;17: 506–514.
 97. Fisk GR. *La Biomécanique de l'articulation du poignet. Traité de chirurgie de la Main* Paris: Masson. 1980; 171–176.
 98. Fahrler ML. *Carpe: Notions Générales.* Tubiana, *Traité de Chirurgie de la Main.* 1980;1.
 99. Flatt AE, Youm Y, Berger RA. Les mécanismes des mouvements du poignet humain. *Le poignet Monographie du GEM.* 1983; 53–61.
 100. GILFORD, WW. Mechanism of wrist joint with special reference to fractures of the scaphoid. *Guys Hosp Rep.* 1943;92: 52–59.
 101. Kapandji A. Biomechanics of the carpus and the wrist. *Ann Chir Main.* 1987;6: 147–169.
 102. Jm L. Studies in the anatomy of articulation. I. The equilibrium of the “intercalated” bone. *Acta Morphol Neerl Scand.* 1961;3: 287–303.
 103. Linscheid RL, Dobyns JH. The unified concept of carpal injuries. *Ann Chir Main.* 1984;3: 35–42.
 104. Viegas SF, Patterson R, Peterson P, Roefs J, Tencer A, Choi S. The effects of various load paths and different loads on the load transfer characteristics of the wrist. *J Hand Surg Am.* 1989;14: 458–465.
 105. Sarrafian SK, Melamed JL, Goshgarian GM. Study of wrist motion in flexion and extension. *Clin Orthop Relat Res.* 1977; 153–159.
 106. Ruby LK, Cooney WP 3rd, An KN, Linscheid RL, Chao EY. Relative motion of selected carpal bones: a kinematic analysis of the normal wrist. *J Hand Surg Am.* 1988;13: 1–10.
 107. Crisco JJ, Wolfe SW, Neu CP, Pike S. Advances in the in vivo measurement of normal and abnormal carpal kinematics. *Orthop Clin North Am.* 2001;32: 219–31, vii.
 108. Seradge H, Sterbank PT, Seradge E, Owens W. Segmental motion of the proximal carpal row: their global effect on the wrist motion. *J Hand Surg Am.* 1990;15: 236–239.
 109. Foumani M, Strackee SD, Jonges R, Blankevoort L, Zwinderman AH, Carelsen B, et al. In-vivo three-dimensional carpal bone kinematics during flexion-extension and radio-ulnar deviation of the wrist: Dynamic motion versus step-wise static wrist positions. *J Biomech.* 2009;42: 2664–2671.
 110. Caggiano N, Matullo KS. Carpal instability of the wrist. *Orthop Clin North Am.* 2014;45: 129–140.

111. White NJ, Rollick NC. Injuries of the Scapholunate Interosseous Ligament: An Update. *J Am Acad Orthop Surg.* 2015;23: 691–703.
112. Garcia-Elias M. The treatment of wrist instability. *J Bone Joint Surg Br.* 1997;79: 684–690.
113. Mesplié G. Functional and Biomechanical Anatomy of the Radioulnar Unity and the Wrist. In: Mesplié G, editor. *Hand and Wrist Rehabilitation: Theoretical Aspects and Practical Consequences.* Cham: Springer International Publishing; 2015. pp. 3–61.
114. Garcia-Elias M. Understanding wrist mechanics: a long and winding road. *J Wrist Surg.* 2013;2: 5–12.
115. Kapandji AI. *Anatomie fonctionnelle: Volume 1 - Membre supérieur.* MALOINE; 2021.
116. Patterson R, Viegas SF. Biomechanics of the wrist. *J Hand Ther.* 1995;8: 97–105.
117. Youm Y, McMurthy RY, Flatt AE, Gillespie TE. Kinematics of the wrist. I. An experimental study of radial-ulnar deviation and flexion-extension. *J Bone Joint Surg Am.* 1978;60: 423–431.
118. Trail IA, Stanley JK, Hayton MJ. Twenty questions on carpal instability. *J Hand Surg Eur Vol.* 2007;32: 240–255.
119. Wright TW, Dobyns JH, Linscheid RL, Macksoud W, Siegert J. Carpal instability non-dissociative. *The Journal of Hand Surgery: British & European Volume.* 1994;19: 763–773.
120. Campbell DA. (ii) Carpal instability. *Curr Orthop.* 1999;13: 268–274.
121. Amadio PC. Carpal kinematics and instability: A clinical and anatomic primer. *Clin Anat.* 1991;4: 1–12.
122. Carlsen BT, Shin AY. Wrist Instability. *Scand J Surg.* 2008;97: 324–332.
123. Watson H, Ottoni L, Pitts EC, Handal AG. Rotary subluxation of the scaphoid: a spectrum of instability. *J Hand Surg Br.* 1993;18: 62–64.
124. Pérez AJ, Jethanandani RG, Vutescu ES, Meyers KN, Lee SK, Wolfe SW. Role of Ligament Stabilizers of the Proximal Carpal Row in Preventing Dorsal Intercalated Segment Instability: A Cadaveric Study. *J Bone Joint Surg Am.* 2019;101: 1388–1396.
125. Chim H, Moran SL. Wrist essentials: the diagnosis and management of scapholunate ligament injuries. *Plast Reconstr Surg.* 2014;134: 312e–322e.
126. Meade TD, Schneider LH, Cherry K. Radiographic analysis of selective ligament sectioning at the carpal scaphoid: a cadaver study. *J Hand Surg Am.* 1990;15: 855–862.
127. Strauch RJ. Scapholunate advanced collapse and scaphoid nonunion advanced collapse arthritis—update on evaluation and treatment. *J Hand Surg Am.* 2011;36: 729–735.
128. Tischler BT, Diaz LE, Murakami AM, Roemer FW, Goud AR, Arndt WF 3rd, et al. Scapholunate advanced collapse: a pictorial review. *Insights Imaging.* 2014;5: 407–417.

129. Burgess RC. The effect of rotatory subluxation of the scaphoid on radio-scaphoid contact. *J Hand Surg Am.* 1987;12: 771–774.
130. O’Meeghan CJ, Stuart W, Mamo V, Stanley JK, Trail IA. The natural history of an untreated isolated scapholunate interosseus ligament injury. *J Hand Surg Br.* 2003;28: 307–310.
131. Mayfield JK. Patterns of injury to carpal ligaments. A spectrum. *Clin Orthop Relat Res.* 1984; 36–42.
132. Geissler WB, Freeland AE, Savoie FH, McIntyre LW, Whipple TL. Intracarpal soft-tissue lesions associated with an intra-articular fracture of the distal end of the radius. *J Bone Joint Surg Am.* 1996;78: 357–365.
133. Richards RS, Bennett JD, Roth JH, Milne K Jr. Arthroscopic diagnosis of intra-articular soft tissue injuries associated with distal radial fractures. *J Hand Surg Am.* 1997;22: 772–776.
134. Lee DJ, Elfar JC. Carpal Ligament Injuries, Pathomechanics, and Classification. *Hand Clin.* 2015;31: 389–398.
135. Athlani L, Pauchard N, Dap F, Dautel G. Treatment of chronic scapholunate instability: Results with three-ligament tenodesis vs. scapholunate and intercarpal ligamentoplasty. *Hand Surgery and Rehabilitation.* 2019;38: 157–164.
136. Lane LB. The scaphoid shift test. *J Hand Surg Am.* 1993;18: 366–368.
137. Watson HK, Ashmead D 4th, Makhlouf MV. Examination of the scaphoid. *J Hand Surg Am.* 1988;13: 657–660.
138. Wolfe SW, Gupta A, Crisco JJ 3rd. Kinematics of the scaphoid shift test. *J Hand Surg Am.* 1997;22: 801–806.
139. Wolfe SW, Crisco JJ. Mechanical evaluation of the scaphoid shift test. *J Hand Surg Am.* 1994;19: 762–768.
140. Gilula LA. Carpal injuries: analytic approach and case exercises. *AJR Am J Roentgenol.* 1979;133: 503–517.
141. Kani KK, Mulcahy H, Chew FS. Understanding carpal instability: a radiographic perspective. *Skeletal Radiol.* 2016;45: 1031–1043.
142. Wolfe SW. Scapholunate instability. *Journal of the American Society for Surgery of the Hand.* 2001;1: 45–60.
143. Schimmerl-Metz SM, Metz VM, Totterman SM, Mann FA, Gilula LA. Radiologic measurement of the scapholunate joint: implications of biologic variation in scapholunate joint morphology. *J Hand Surg Am.* 1999;24: 1237–1244.
144. Chan K, Vutescu ES, Carlson MG, Wolfe SW, Lee SK. Plain Radiographs Detect Dorsal Scaphoid Translation in Scapholunate Dissociation: Level 4 Evidence. *J Hand Surg Am.*

2017;42: S36–S37.

145. Athlani L, Pauchard N, Dautel G. Radiological evaluation of scapholunate intercarpal ligamentoplasty for chronic scapholunate dissociation in cadavers. *J Hand Surg Eur Vol.* 2018;43: 387–393.
146. Vance RM, Gelberman RH, Braun RM. Chronic bilateral scapholunate dissociation without symptoms. *J Hand Surg Am.* 1979;4: 178–180.
147. Vitello W, Gordon DA. Obvious radiographic scapholunate dissociation: X-ray the other wrist. *Am J Orthop.* 2005;34: 347–351.
148. Teixeira PAG, Blanc J-B, Rauch A, Arab WA, Hossu G, Athlani L, et al. Evaluation of Dorsal Subluxation of the Scaphoid in Patients With Scapholunate Ligament Tears: A 4D CT Study. *AJR Am J Roentgenol.* 2021;216: 141–149.
149. Vishwanathan K, Hearnden A, Talwalkar S, Hayton M, Murali SR, Trail IA. Reproducibility of radiographic classification of scapholunate advanced collapse (SLAC) and scaphoid nonunion advanced collapse (SNAC) wrist. *J Hand Surg Eur Vol.* 2013;38: 780–787.
150. Bille B, Harley B, Cohen H. A comparison of CT arthrography of the wrist to findings during wrist arthroscopy. *J Hand Surg Am.* 2007;32: 834–841.
151. Andersson JK, Andernord D, Karlsson J, Fridén J. Efficacy of Magnetic Resonance Imaging and Clinical Tests in Diagnostics of Wrist Ligament Injuries: A Systematic Review. *Arthroscopy.* 2015;31: 2014–20.e2.
152. Moser T, Dosch J-C, Moussaoui A, Dietemann J-L. Wrist Ligament Tears: Evaluation of MRI and Combined MDCT and MR Arthrography. *American Journal of Roentgenology.* 2007;188: 1278–1286.
153. Hobby JL, Tom BD, Bearcroft PW, Dixon AK. Magnetic resonance imaging of the wrist: diagnostic performance statistics. *Clin Radiol.* 2001;56: 50–57.
154. Magee T. Comparison of 3-T MRI and Arthroscopy of Intrinsic Wrist Ligament and TFCC Tears. *American Journal of Roentgenology.* 2009;192: 80–85.
155. Moser T, Khoury V, Harris PG, Bureau NJ, Cardinal E, Dosch J-C. MDCT arthrography or MR arthrography for imaging the wrist joint? *Semin Musculoskelet Radiol.* 2009;13: 39–54.
156. Dreant N, Dautel G. Élaboration d'un score de sévérité arthroscopique pour les instabilités scapho-lunaires. *Chir Main.* 2003;22: 90–94.
157. Savoie FH 3rd, Grondel RJ. Arthroscopy for carpal instability. *Orthop Clin North Am.* 1995;26: 731–738.
158. Cooney WP, Dobyns JH, Linscheid RL. Arthroscopy of the wrist: anatomy and classification of carpal instability. *Arthroscopy.* 1990;6: 133–140.

159. Geissler WB. Arthroscopic management of scapholunate instability. *J Wrist Surg.* 2013;2: 129–135.
160. Messina JC, Van Overstraeten L, Luchetti R, Fairplay T, Mathoulin CL. The EWAS Classification of Scapholunate Tears: An Anatomical Arthroscopic Study. *J Wrist Surg.* 2013;2: 105–109.
161. De Smet L. Pitfalls in wrist arthroscopy. *Acta Orthop Belg.* 2002;68: 325–329.
162. Ahsan ZS, Yao J. Complications of wrist arthroscopy. *Arthroscopy.* 2012;28: 855–859.
163. Bednar JM. Acute Scapholunate Ligament Injuries: Arthroscopic Treatment. *Hand Clin.* 2015;31: 417–423.
164. Nathan R, Blatt G. Rotary subluxation of the scaphoid. Revisited. *Hand Clin.* 2000;16: 417–431.
165. Garcia-Elias M, Bain G, Luchetti R. IFSSH Scientific Committee on Carpal Instability. Available: https://184.164.133.202/pdf/Carpal_Instability_Part_1_2016_FINAL_Formatted_for_website_and_book.pdf
166. Garcia-Elias M, Lluch AL, Stanley JK. Three-ligament tenodesis for the treatment of scapholunate dissociation: indications and surgical technique. *J Hand Surg Am.* 2006;31: 125–134.
167. Crawford K, Owusu-Sarpong N, Day C, Iorio M. Scapholunate Ligament Reconstruction: A Critical Analysis Review. *JBJS Rev.* 2016;4: e41–8.
168. Blatt G. Capsulodesis in reconstructive hand surgery. Dorsal capsulodesis for the unstable scaphoid and volar capsulodesis following excision of the distal ulna. *Hand Clin.* 1987;3: 81–102.
169. Berger RA, Bishop AT, Bettinger PC. New dorsal capsulotomy for the surgical exposure of the wrist. *Ann Plast Surg.* 1995;35: 54–59.
170. Athlani L, Pauchard N, Detammaecker R, Huguet S, Lombard J, Dap F, et al. Treatment of chronic scapholunate dissociation with tenodesis: A systematic review. *Hand Surgery and Rehabilitation.* 2018;37: 65–76.
171. Athlani L, Pauchard N, Dautel G. Résultats préliminaires de la ligamentoplastie SLIC dans le traitement de la dissociation scapholunaire. *Revue de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique.* 2015;101: S254–S255.
172. Slutsky DJ. Outcomes assessment in wrist surgery. *J Wrist Surg.* 2013;2: 1–4.
173. Dabis J, Wilson A. Repair and Augmentation with Internal Brace in the Multiligament Injured Knee. *Clin Sports Med.* 2019;38: 275–283.
174. Gilmer BB, Crall T, DeLong J, Kubo T, Mackay G, Jani SS. Biomechanical Analysis of Internal Bracing for Treatment of Medial Knee Injuries. *Orthopedics.* 2016;39: e532–7.

175. Mackay GM, Blyth MJG, Anthony I, Hopper GP, Ribbans WJ. A review of ligament augmentation with the InternalBrace™: the surgical principle is described for the lateral ankle ligament and ACL repair in particular, and a comprehensive review of other surgical applications and techniques is presented. *Surg Technol Int.* 2015;26: 239–255.
176. Boksh K, Haque A, Sharma A, Divall P, Singh H. Use of Suture Tapes Versus Conventional Sutures for Arthroscopic Rotator Cuff Repairs: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2021; 363546521998318.
177. Liu RW, Lam PH, Shepherd HM, Murrell GAC. Tape Versus Suture in Arthroscopic Rotator Cuff Repair: Biomechanical Analysis and Assessment of Failure Rates at 6 Months. *Orthop J Sports Med.* 2017;5: 2325967117701212.
178. Huntington L, Coles-Black J, Richardson M, Sobol T, Caldow J, Chuen J, et al. The use of suture-tape and suture-wire in arthroscopic rotator cuff repair: A comparative biomechanics study. *Injury.* 2018;49: 2047–2052.
179. Bachmaier S, Smith PA, Bley J, Wijdicks CA. Independent Suture Tape Reinforcement of Small and Standard Diameter Grafts for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Biomechanical Full Construct Model. *Arthroscopy.* 2018;34: 490–499.
180. Aboalata M, Elazab A, Halawa A, Ahmed MS, Imhoff AB, Bassiouny Y. The Crossing Internal Suture Augmentation Technique to Protect the All-Inside Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Graft. *Arthrosc Tech.* 2017;6: e2235–e2240.
181. Soreide E, Denbeigh JM, Lewallen EA, Thaler R, Xu W, Berglund L, et al. In vivo assessment of high-molecular-weight polyethylene core suture tape for intra-articular ligament reconstruction: an animal study. *Bone Joint J.* 2019;101-B: 1238–1247.
182. Smith PA, Bozynski CC, Kuroki K, Henrich SM, Wijdicks CA, Cook JL. Intra-Articular Biocompatibility of Multistranded, Long-Chain Polyethylene Suture Tape in a Canine ACL Model. *J Knee Surg.* 2019;32: 525–531.
183. Lee SJ, Rabinovich RV, Kim A. Thumb Ulnar Collateral Ligament Repair with Suture Tape Augmentation. *J Hand Surg Asian Pac Vol.* 2020;25: 32–38.
184. Shin SS, van Eck CF, Uquillas C. Suture Tape Augmentation of the Thumb Ulnar Collateral Ligament Repair: A Biomechanical Study. *J Hand Surg Am.* 2018;43: 868.e1–868.e6.
185. De Giacomo AF, Shin SS. Repair of the Thumb Ulnar Collateral Ligament With Suture Tape Augmentation. *Tech Hand Up Extrem Surg.* 2017;21: 164–166.
186. Kakar S, Greene RM, Denbeigh J, Van Wijnen A. Scapholunate Ligament Internal Brace 360 Tenodesis (SLITT) Procedure: A Biomechanical Study. *J Wrist Surg.* 2019;8: 250–254.
187. Park I-J, Lim D, Maniglio M, Shin SS, Chae S, Truong V, et al. Comparison of Three Different Internal Brace Augmentation Techniques for Scapholunate Dissociation: A Cadaveric Biomechanical Study. *J Clin Med Res.* 2021;10. doi:10.3390/jcm10071482
188. Berger RA, Imeada T, Berglund L, An KN. Constraint and material properties of the

- subregions of the scapholunate interosseous ligament. *J Hand Surg Am.* 1999;24: 953–962.
189. Nishimura A, Nakazora S, Senga Y, Kitaura Y, Fukuda A, Kato K, et al. Arthroscopic Internal Brace Augmentation With Arthroscopic Modified Broström Operation for Chronic Ankle Instability. *Arthroscopy Techniques.* 2021;10: e995–e1000.
 190. Ulku TK, Kocaoglu B, Tok O, Irgit K, Nalbantoglu U. Arthroscopic suture-tape internal bracing is safe as arthroscopic modified Broström repair in the treatment of chronic ankle instability. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28: 227–232.
 191. Ryu JY, Cooney WP 3rd, Askew LJ, An KN, Chao EY. Functional ranges of motion of the wrist joint. *J Hand Surg Am.* 1991;16: 409–419.
 192. Van Den Abbeele KL, Loh YC, Stanley JK, Trail IA. Early results of a modified Brunelli procedure for scapholunate instability. *J Hand Surg Br.* 1998;23: 258–261.
 193. Talwalkar SC, Edwards ATJ, Hayton MJ, Stilwell JH, Trail IA, Stanley JK. Results of tri-ligament tenodesis: a modified Brunelli procedure in the management of scapholunate instability. *J Hand Surg Br.* 2006;31: 110–117.
 194. Moran SL, Ford KS, Wulf CA, Cooney WP. Outcomes of dorsal capsulodesis and tenodesis for treatment of scapholunate instability. *J Hand Surg Am.* 2006;31: 1438–1446.
 195. De Smet L, Van Hoonacker P. Treatment of chronic static scapholunate dissociation with the modified Brunelli technique: preliminary results. *Acta Orthop Belg.* 2007;73: 188–191.
 196. Links AC, Chin SH, Waitayawinyu T, Trumble TE. Scapholunate interosseous ligament reconstruction: results with a modified Brunelli technique versus four-bone weave. *J Hand Surg Am.* 2008;33: 850–856.
 197. Ellanti P, Sisodia G, Al-Ajami A, Ellanti P, Harrington P. The modified Brunelli procedure for scapholunate instability: a single centre study. *Hand Surg.* 2014;19: 39–42.
 198. Elgammal A, Lukas B. Mid-term results of ligament tenodesis in treatment of scapholunate dissociation: a retrospective study of 20 patients. *J Hand Surg Eur Vol.* 2016;41: 56–63.
 199. Kalb K, Blank S, van Schoonhoven J, Prommersberger K-J. [Stabilization of the scaphoid according to Brunelli as modified by Garcia-Elias, Lluch, and Stanley for the treatment of chronic scapholunate dissociation]. *Oper Orthop Traumatol.* 2009;21: 429–441.
 200. Dolderer JH, Zimny K, Klein SM, Koller M, Prantl L, Geis S. Reconstruction of chronic scapholunate dissociation with the modified scapholunate axis method (SLAM). *Arch Orthop Trauma Surg.* 2019;139: 1641–1647.
 201. Papadogeorgou E, Mathoulin C. Extensor carpi radialis brevis ligamentoplasty and dorsal capsulodesis for the treatment of chronic post-traumatic scapholunate instability. *Chir Main.* 2010;29: 172–179.

IX. ANNEXES

- **ANNEXE I: Questionnaire rempli lors des consultations de contrôle ou sur la base du dossier médical:**

Données générales:

- Age
- Main dominante
- Profession
- Loisir (sport)

Données liées au traumatisme:

- Côté atteint
- date du traumatisme (si connue)
- type de traumatisme (si connu)

Données liées à la chirurgie:

- Date de la chirurgie
- Délai depuis la chirurgie

Examen clinique postopératoire:

- Mobilités bilatérales

* en flexion de poignet

- * en extension de poignet

- * en inclinaison radiale

- * en inclinaison ulnaire

- * en pronosupination

- EVA:

- * au repos

- * à l'effort

- Grasp bilatéral

Critères radiologiques préopératoires:

- angle scapho-lunaire

- diastasis scapho-lunaire

- angle radio-lunaire

- angle radio-scaphoïdien

Critères radiologiques postopératoires:

- angle scapho-lunaire

- diastasis scapho-lunaire

- angle radio-lunaire

- angle radio-scaphoïdien

Délai de reprise de l'activité professionnelle en postopératoire

Délai de reprise des activités de loisirs

Degré de satisfaction (sur une échelle de 1 à 4: 1= pas de tout satisfait, 4= très satisfait)

Questionnaires fonctionnels:

- PRWE
- QuickDASH
- Mayo Wrist Score

● **ANNEXE II: PRWE**

PRWE
Evaluation du poignet par le patient

Nom: _____ **Signature:** _____ **Date:** _____

Les questions ci-dessous vont nous permettre de comprendre les difficultés que vous avez rencontrées avec votre poignet la semaine dernière. Sur une échelle de 0 à 10, vous décrierez l'intensité moyenne des symptômes de votre poignet durant la semaine dernière. Veuillez répondre à TOUTES les questions. Si vous n'avez fait aucune des activités, veuillez ESTIMER la douleur ou la difficulté à laquelle vous vous seriez attendue. Si vous n'avez jamais fait l'activité, vous pouvez laisser l'item en blanc.

DOULEUR - Veuillez évaluer l'intensité moyenne de la douleur à votre poignet durant la semaine dernière en entourant le chiffre qui correspond le mieux votre douleur sur une échelle de 1 à 10. Le zéro (0) signifie que vous n'avez ressenti aucune douleur et le dix (10) signifie que vous avez ressenti la pire douleur jamais éprouvée ou que vous n'avez pas pu faire l'activité à cause de la douleur.

Evaluer votre douleur :

	Pas de douleur					Pire douleur jamais ressentie					
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Au repos											
Lorsque vous faites une tâche avec un mouvement répétitif du poignet											
Lorsque vous soulevez un objet lourd											
Lorsque la douleur est à son comble											
Avez vous souvent mal?											
	Jamais					Toujours					

FONCTION

A. ACTIVITES SPECIFIQUES - Veuillez évaluer le niveau de difficulté que vous avez éprouvé à accomplir avec votre main atteinte chacun des gestes listés ci-dessous – au cours de la semaine dernière, en entourant le chiffre qui correspond le mieux à la difficulté éprouvée sur une échelle de 1 à 10. Le zéro (0) signifie que vous n'avez rencontré aucune difficulté et le dix (10) signifie que c'était tellement difficile que vous ne pouviez pas le faire du tout.

	Aucune difficulté					Incapable de faire					
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tourner une poignée de porte											
Couper de la viande											
Boutonner ma chemise											
Se lever d'une chaise											
Porter un objet de 5 Kg											
Utiliser du papier toilette											

B. ACTIVITES HABITUELLES - Veuillez évaluer le niveau de difficulté que vous avez éprouvé à accomplir vos activités habituelles dans chacun des domaines listés ci-dessous, au cours de la semaine dernière, en entourant le chiffre qui correspond le mieux à la difficulté éprouvée sur une échelle de 1 à 10. Par activités habituelles, nous entendons les activités que vous faisiez avant d'avoir des problèmes avec votre poignet. Le zéro (0) signifie que n'avez rencontré aucune difficulté et le dix (10) signifie que c'était tellement difficile que vous ne pouviez pas faire vos activités habituelles.

	Aucune difficulté					Incapable de faire					
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Soins personnels (s'habiller, se laver)											
Tâches ménagères (nettoyage, entretien)											
Travail (votre emploi ou tâches quotidiennes habituelles)											
Loisirs											

● ANNEXE III: QuickDash

Quick DASH						
Veuillez évaluer vos possibilités d'effectuer les activités suivantes au cours des 7 derniers jours en entourant le chiffre placé sous la réponse appropriée						
	Aucune difficulté	Difficulté légère	Difficulté moyenne	Difficulté importante	Impossible	
1.	Dévisser un couvercle serré ou neuf	1	2	3	4	5
2.	Effectuer des tâches ménagères lourdes (nettoyage des sols ou des murs)	1	2	3	4	5
3.	Porter des sacs de provisions ou une mallette	1	2	3	4	5
4.	Se laver le dos	1	2	3	4	5
5.	Couper la nourriture avec un couteau	1	2	3	4	5
6.	Activités de loisir nécessitant une certaine force ou avec des chocs au niveau de l'épaule du bras ou de la main. (bricolage, tennis, golf, etc..)	1	2	3	4	5
		Pas du tout	Légèrement	Moyennement	Beaucoup	Extrêmement
7.	Pendant les 7 derniers jours, à quel point votre épaule, votre bras ou votre main vous a-t-elle gêné dans vos relations avec votre famille, vos amis ou vos voisins ? (entourez une seule réponse)	1	2	3	4	5
		Pas du tout limité	Légèrement limité	Moyennement limité	Très limité	Incapable
8.	Avez-vous été limité dans votre travail ou une de vos activités quotidiennes habituelles en raison de problèmes à votre épaule, votre bras ou votre main?	1	2	3	4	5
Veuillez évaluer la sévérité des symptômes suivants durant les 7 derniers jours. (entourez une réponse sur chacune des lignes)		Aucune	Légère	Moyenne	Importante	Extrême
9.	Douleur de l'épaule, du bras ou de la main	1	2	3	4	5
10.	Picotements ou fourmillements douloureux de l'épaule, du bras ou de la main	1	2	3	4	5
		Pas du tout perturbé	Un peu perturbé	Moyennement perturbé	Très perturbé	Tellement perturbé que je ne peux pas dormir
11.	Pendant les 7 derniers jours, votre sommeil a-t-il été perturbé par une douleur de votre épaule, de votre bras ou de votre main ? (entourez une seule réponse)	1	2	3	4	5

Le score QuickDASH n'est pas valable s'il y a plus d'une réponse manquante.

- **ANNEXE IV: Mayo Wrist Score**

Mayo wrist score

Douleur

25	Pas de douleur
20	Occasionnelle
15	Modérée
0	Importante

Satisfaction

25	Très satisfait
20	Modérément satisfait
15	Insatisfait mais en activité professionnelle
0	Insatisfait, pas de reprise de l'activité professionnelle

Mobilités

25	>120°
20	100 à 119°
15	90 à 99°
10	60 à 89°
5	30 à 59°
0	0 à 29°

Force (% de la normale)

25	90 à 100
15	75 à 89
10	50 à 74
5	25 à 49
0	0 à 24

- **Annexes V: tableaux récapitulatifs des données par patient**

	Sexe	Age au moment de la chirurgie (en années)	Main dominante	Poignet lésé	Durée de suivi (en mois)	Profession	Travail de force ou manuel	Type de traumatisme	Contexte d'accident du travail	Délai entre le traumatisme et la chirurgie	Loisirs	Délai de reprise du travail (en mois)	Délai de reprise des loisirs (en mois)
Patient 1	F	57	G	D	24	Aide soignante	Oui	chute de sa hauteur sur poignet	Oui	7	Randonnée	4	0
Patient 2	F	55	D	D	24	Aide soignante	Oui	AT traumatisme avec barrière de lit	Oui	20	-	Invalidité	-
Patient 3	H	28	D	D	20	Snowboarder professionnel	Oui	Accident de snowboard	Oui	2	-	3	-
Patient 4	H	27	D	D	18	Barman		chute de sa hauteur sur poignet		2	Musculation	7	6
Patient 5	F	42	D	D	19	Comptable		-		-	-	2	-
Patient 6	H	54	D	D	17	Conducteur routier	Oui	chute de sa hauteur sur poignet		8	Pétanque	6	6
Patient 7	H	54	D	G	18	Agent de maitrise		-		8	Vélo	3	3
Patient 8	H	48	D	D	10	Magasinier cariste	Oui	En rattrapant une planche de bois	Oui	5	-	4	-
Patient 9	H	47	D	G	17	Agent de production	Oui	chute de sa hauteur sur poignet	Oui	3	Musculation	18	Pas de reprise
Patient 10	H	44	D	G	10	Assistant de vente, mise en rayon		-		-	-	Invalidité	-
Patient 11	F	61	D	D	10	IBODE		Accident de vélo	Oui	24	Randonnée, vélo, musculation	Invalidité	4
Patient 12	F	60	D	G	9	Bénévole en librairie		chute de sa hauteur sur poignet		12	-	2	-
Patient 13	H	47	D	D	9	Enseignant		En retenant un fauteuil		8	Course à pied, natation	2	Pas de reprise

Patient 14	H	23	D	G	8	Étudiant		chute de sa hauteur sur poignet		11	Musculation	6	6
Patient 15	H	37	D	D	8	Chauffeur de poids lourd	Oui	En retenant une moto		36	-	4	-
Patient 16	H	39	D	D	6	Informaticien		Chute de sa hauteur sur poignet		8	basket, course à pied	4	Pas de reprise
Patient 17	H	57	D	D	14	Electricien	Oui	Accident en escalade		8	VTT, escalade, randonnée	3	4
Patient 18	H	34	D	G	13	Chargé d'affaire		Chute de cheval		24	Basket	3	5
Patient 19	H	51	D	G	23	Chauffeur routier	Oui	AVP scooter		3	muscultation, vélo	Accident sur l'autre poignet	Pas de reprise
Patient 20	H	36	D	D	8	Chef de cuisine	Oui	chute de sa hauteur sur poignet		24	Course à pied, muscultation	4	2
Patient 21	H	51	D	D	10	Maçon	Oui	en retenant un mur en béton	Oui	13	-	Invalidité	-

Patients	Stabilisation du montage par 1 ou 2 broches	Délai AMO (en jours)	Stade de Garcia Elias	ASL préopératoire (en degrés)	ASL postopératoire (en degrés)	ARL préopératoire (en degrés)	ARL postopératoire (en degrés)	ESL préopératoire (en mm)	ESL post opératoire (en mm)	Débord du scaphoïde préopératoire/postopératoire	ARS préopératoire (en degrés)	ARS postopératoire (en degrés)
Patient 1	1	43	4	59	59	4,8	4,4	3	3	Non/non	59	57
Patient 2	1	62	4	62	53	6	11,8	4	3	Non/non	68	66
Patient 3	1	47	3	45	54	11,5	11,7	4	2	Non/non	48	58
Patient 4	2	56	3	60	47	1,3	4	4	2	Non/non	56	38
Patient 5	1	51	3	75	72	17	17	3	3	Non/non	46	32
Patient 6	1	50	4	82	78	33	28	3	3	Oui/ non	64	49
Patient 7	1	47	3	62	65	22,7	15,7	4	4	Non/non	40	49
Patient 8	1	33	3	65	75	16	15	5	4	Non/non	46	58
Patient 9	1	39	3	45	35	3	23	2	2	Non/non	44	40
Patient 10	2	55	4	90	90	37	35	9	5	oui/ oui	71	68
Patient 11	1	56	3	57	55	17	7,6	4	3	Non/non	54	35
Patient 12	1	45	4	85	82	30	26	3	3	oui/non	57	61
Patient 13	1	43	4	86	55	17,6	13	5	5	Non/non	64	68
Patient 14	1	50	3	70	69	16	18	3	3	Non/non	47	40
Patient 15	1	39	3	51	49	8,6	8,2	3	3	Non/non	56	57
Patient 16	x	x	4	105	77	30,4	14	8	6	oui/ oui	73	59

Patient 17	2	55	3	75	70	12	19	4	2,2	non/non	44	51
Patient 18	2	43	4	88	74	55	12	5	3	oui/non	73	62
Patient 19	2	56	3	71	43	19	21	2,3	2,5	Non/non	54	43
Patient 20	2	31	3	85	63	9	5	4	3	Non/non	54	66
Patient 21	2	49	3	70	78	10	13	4	2	Non/non	56	72

	EVA au repos	EVA à l'effort	Flexion en degrés	Flexion CL en degrés	Flexion en % du poignet CL	Extension (en degrés)	Extension CL en degrés	Extension en % du poignet CL	IR en degrés	IR CL en degrés	IR en % du poignet CL	IU en degrés	IU CL en degrés	IU en % du poignet CL	Force de serrage global en kg	Force de serrage CL en kg	Force de serrage en % de la force CL	Quick dash	PRWE	Mayo Wrist Score	Score de satisfaction (sur 4)
Patient 1	0	3	40	60	67	45	60	75	5	20	25	35	40	88	17	23	74	27,3	34	65	3
Patient 2	0	3	20	75	27	45	70	64	15	30	50	30	45	67	12	32	38	37,5	23,25	35	4
Patient 3	0	0	80	90	89	60	90	67	30	30	100	45	45	100	63	68	93	4,5	7	100	4
Patient 4	0	3	60	80	75	55	75	73	15	20	75	40	50	80	40	40	100	4,5	9	90	4
Patient 5	0	4	48	80	60	65	75	87	30	30	100	45	45	100	30	30	100	27,3	21	90	3
Patient 6	1	3	50	60	83	45	60	75	15	15	100	25	25	100	30	38	79	20,5	33	65	4
Patient 7	0	4	55	60	91	75	80	94	15	18	83	15	45	33	65	70	92	6,8	12	95	3
Patient 8	4	8	35	70	50	60	70	86	5	15	33	35	55	64	10	40	25	88,6	37	15	2
Patient 9	0	6	70	90	78	80	80	100	30	30	100	45	45	100	28	36	78	11,4	27,5	80	3
Patient 10	0	7	30	80	38	60	80	75	10	20	50	25	50	50	28	50	56	NC	NC	NC	1
Patient 11	0	6	40	65	62	50	65	77	10	15	67	45	45	100	10	30	33	34,1	37,5	60	3
Patient 12	0	4	50	50	100	60	80	75	20	20	100	20	20	100	18	30	60	36,4	18	75	3

Patient 13	0	5	30	70	42	60	80	75	15	25	60	15	40	37,5	12	30	40	63,6	54	35	2
Patient 14	0	2	40	80	50	80	85	94	15	15	100	15	15	100	40	52	77	6,8	9,5	95	4
Patient 15	0	2	40	70	57	70	80	88	20	20	100	40	45	89	55	55	100	11,4	22,5	85	3
Patient 16	0	7	40	75	53	45	75	60	30	35	86	30	45	67	16	50	32	29,5	19,5	50	3
Patient 17	0	2	56	70	80	45	52	87	29	35	83	32	50	64	27	51	53	22,7	11,5	85	4
Patient 18	0	1	70	80	88	70	90	78	25	30	83	40	40	100	38	58	66	2,2	3	85	3
Patient 19	0	4	65	80	81	55	80	69	35	40	88	40	45	89	26	40	65	37,5	27	75	3
Patient 20	0	5	50	60	83	45	60	75	25	30	83	35	40	88	24	50	50	40,9	29	60	3
Patient 21	2	5	25	30	83	40	40	100	10	20	50	20	20	100	18	40	45	70,5	45	15	2

- **ANNEXE VI: listes des images et des tableaux inclus dans le texte**

Listes des images:

- Figure 1. Anatomie osseuse descriptive du poignet, In [Atlas d'anatomie humaine, Netter, 7ème édition, 2019]
- Figure 2. Illustration radiographique des deux types de lunatum: Radiographie de gauche: lunatum de type I, Radiographie de droite: lunatum de type II , In [Kawamura K, Chung KC, Management of wrist injuries, Plast Reconstr Surgery, 2007]
- Figure 3. Zones de mobilité selon le type de lunatum (articulations dominantes en pointillés): Type 1: mobilité dans les articulations luno-capitale et radio-carpienne Type 2: mobilité dans les articulations radio-lunaire et radio-carpienne In [Garcia Elias M, Bain G, Luchetti R, IFHSS Scientific committee on Carpal Instability, Part 1 carpal instability, definition and investigation, May 2016]
- Figure 4. Vue palmaire du poignet, illustration des ligaments intrinsèques; TH: ligament triquetro-hamatal, TC: ligament triquétrocapital, CH: ligament Capito-hamatal, CT: ligament capitotrapézial, TT: ligament trapézo-trapézoïdal, STT: ligament scapho-trapézo-trapézoïdal, SC: ligament scapho-capital, SL: ligament scapho-lunaire, LT: ligament luno-triquétral, In [Chim H, Moran SL, Wrist essentials: the diagnosis and management of scapholunate ligament

injuries, Pal Reconstr Surg, 2014 Aug; 134(2):312e-322e]

- Figure 5. Ligament scapho-lunaire, in Walsh JJ, Berger RA, Cooney WP. Current status of scapholunate interosseous ligament injuries. J Am Acad Orthop Surg. 2002. Jan-Feb;10[1]: 32-42]
- Figure 6. Dissection anatomique des ligaments de la face palmaire du poignet
Ca: capitatum, Tr: triquétrum, Sc: scaphoïde, Tz: trapèze, Lu: lunatum, R: radius, 1: ligament radio-scapho-capital, 2: ligament radio-lunaire long, 3: ligament radio-lunaire court, 4: ligament ulno-lunaire , 5: Ligament ulno-triquétral, 6: ligament triquétracapital, 7: ligament scaphotrapézial.
In [Van Overstraeten L, Camus EJ, The role of extrinsic ligament in maintaining carpal stability- a prospective statistical analysis of 85 arthroscopic cases, Hand Surg Rehabil. 2016 Feb; 35(1):10-5]
- Figure 7. Dissection anatomique des ligaments de la face dorsale du poignet;
Ca: capitatum, Tr: triquétrum, Sc: scaphoïde, Tz: trapèze, Lu: lunatum, R: radius, U: ulna 8: ligament radio-carpien dorsal, 9: ligament intercarpien dorsal
In [Van Overstraeten L, Camus EJ, The role of extrinsic ligament in maintaining carpal stability- a prospective statistical analysis of 85 arthroscopic cases, Han Surg Rehabil. 2016 Feb; 35(1):10-5]
- Figure 8. Illustration de l'action des muscles de l'avant bras sur le poignet,
In [Mesplié G, Instabilités du carpe chez le sportif, Pro manu (société suisse de rééducation de la main), 2017]
- Figure 9. Vues dorsales d'un poignet avec section complète du ligament

scapho-lunaire A: diastasis scapholunaire sur lésion scapholunaire en dehors de toute contraction musculaire B: augmentation de la coaptation

scapho-lunaire lors de la contraction du long extenseur radial du carpe C:

Augmentation du diastasis scapho-lunaire lors de la contraction de l'extenseur ulnaire du carpe In [Leon Lopez MM, Garcia Elias M, Salva Cool G, Llusa-Perez M, Lluch-Bergada A, Muscular control of scapholunate instability, An experimental study, Rev Esp Cir Ortop Traumatol, 2014 Jan;58(1); 11-8]

- Figure 10. Rôle du fléchisseur radial du carpe (FCR): la contraction du fléchisseur radial du carpe induit un mouvement de supination au scaphoïde qui s'oppose à la tendance naturelle du scaphoïde à la flexion et pronation. In [Wolfe SW, Hotchkiss NR, Pederson WC, Kozin SH, Green's Operative Hand surgery, sixth edition, 2011]
- Figure 11. Role du FCR: la contraction du FCR entraîne une pronation du triquétrum (de la première rangée), et une supination du scaphoïde ayant pour effet une coaptation de l'espace scapho-lunaire. In [Wolfe SW, Hotchkiss NR, Pederson WC, Kozin SH, Green's Operative Hand surgery, sixth edition, 2011]
- Figure 12. La théorie des rangées In [Kapandji A, Biomechanics of the carpus and the wrist, Ann Chir Main 1982;6(2):147-69]
- Figure 13. La théorie des colonnes: Illustration de gauche: la théorie des colonnes selon Navarro, Illustration de droite: la théorie des colonnes modifiée par Taleisnik In [Lichtman D M, Schneider J R, Swafford A R & Mack G R (1961). Ulnar midcarpal instability - clinical and laboratory analysis. The Journal

of Hand Surgery 6(5), 515-523]

- Figure 14. La théorie “oval ring” selon Lichtman, In [Wolfe SW, Hotchkiss NR, Pederson WC, Kozin SH, Green’s Operative Hand surgery, sixth edition, 2011]
- Figure 15. Arcs de mobilité des articulations radio-carpienne et médio-carpienne dans le plan sagittal, A: mobilités en flexion de poignet B: position neutre C: mobilité en extension de poignet In[A. I. Kapandji et R. Tubiana, Anatomie fonctionnelle 1: membres supérieurs. Physiologie de l’appareil moteur, 6 ème édition, Paris, Maloine, 2005]
- Figure 16. Arcs de mobilité du poignet dans le plan frontal: A: arc de flexion B: arc d’extension C: les deux axes se rencontrent au niveau de l’interligne scapho-lunaire, ce qui en fait une zone de fragilité. In [E. J. Camus, F. Millot, J. Lariviere, S. Raoult, kinematics of the wrist using 2D and 3D analysis: biomechanical and clinical deduction, Surgical and Radiologic Anatomy, p. 399-410, 2004]
- Figure 17. Représentation de la cinématique du carpe: Illustration de gauche: en inclinaison radiale, Illustration de droite: en inclinaison ulnaire In [Kitay A., Wolfe SW, Scapholunate instability: current concept in diagnosis and management, J Hand Surg Am, 2012 Oct;37(10)2175-96]
- Figure 18. Modifications de la biomécanique du carpe lors de l’instabilité scapho-lunaire: flexion du scaphoïde, extension du triquétrum suivi par le lunatum, aggravation du diastasis scapholunaire par la tête du capitatum. In [Wolfe SW, Scapholunate instability, Journal of the American Society for

Surgery of the Hand, 2001 Feb 1;1(1);45-60]

- Figure 19. Illustration de la flexion et rotation du scaphoïde dans le contexte de lésion scapho-lunaire In [Walsh JJ, Berger RA, Cooney WP, Current Status of scapholunate interosseous ligament injuries. J Am Acad Orthop Surg, 2002 Jan;10(1);32-42]
- Figure 20. Les SLAC lésions: Stade 1: arthrose stylo-scaphoïdienne, Stade 2: extension à l'ensemble de l'interligne radio-scaphoïdien, Stade 3: extension à l'interligne médio carpien avec arthrose luno capitale In [White NJ, RollickNC, Injuries of the Scapholunate Interosseous Ligament: An update. J Am Acad Orthop Surg, 2015 Nov;23(11):691-703]
- Figure 21. Illustration schématique de la physiopathologie des SLAC lésions à l'aide de deux cuillères: lorsque l'axe d'une des cuillères est modifié par rapport à l'autre, on observe une zone de contact anormale entre les berges des cuillères. Applicable à l'interligne radio-scaphoïdien: la subluxation postérieure du scaphoïde entraîne un contact anormal entre les marges antérieure et postérieure du radius et du scaphoïde. In [Burgess RC, The effect of rotatory subluxation of the scaphoid on radio-scaphoid contact, J Hand Surg Am, 1987 Sep;12(5 Pt 1):771]
- Figure 22. Test de Watson: Lors du passage de la position d'inclinaison ulnaire à l'inclinaison radiale avec une pression palmaire sur la base de scaphoïde, le scaphoïde va se subluser en arrière de la marge postérieure du radius en cas de lésion scapho-lunaire. In [Lésions et instabilités scapho-lunaires, les

comprendre et les traiter, M. Papaoïzos, Rev Med Suisse 2015, 11:1251-6]

- Figure 23. Les arcs de Gilula: Premier arc: unit les faces proximales des os de la première rangée, Deuxième arc: unit la face distale des os de la première rangée, Troisième arc: unit les faces proximales du capitatum et de l'hamatum, Radiographie de gauche: poignet normal, Radiographie de droite: patient présentant une instabilité scapho-lunaire
- Figure 24. Calcul de l'index de hauteur carpienne: $L1/L2$; L1=longueur du troisième métacarpien, L2=longueur entre le radius et la base du troisième métacarpien. Il doit être compris entre 0,51 et 0,57. In [Youm Y, McMurtry RY, Flatt AE, Gillespie TE, Kinematics of the wrist: I. An experimental study of radioulnar deviation and flexion-extension, Journal of Bone and Joint Surgery, 1978]
- Figure 25. Signes radiologiques de l'instabilité scapholunaire sur une radiographie de face: Ovale noir: dorsiflexion du scaphoïde, signe de l'anneau Trait rouge: extension du lunatum avec sa corne antérieure visible Etoile bleue: diastasis scapho-lunaire
- Figure 26. Signes radiologiques de l'instabilité scapho-lunaire sur une radiographie de poignet de profil: 1: Angle scapho-lunaire $>70^\circ$ (scaphoïde en blanc et lunatum en noir) 2: angle radio-lunaire $>15^\circ$, Perte de l'alignement radius-capitatum-M3 (ligne rouge en pointillés), Débord dorsal du scaphoïde en faveur de la subluxation dorsale du scaphoïde (ligne blanche)
- Figure 27. Définition de l'angle radio-scaphoïdien postérieur, in [Athlani, Radiological evaluation of scapholunate intercarpal ligamentoplasty for chronic

scapholunate dissociation in cadavers 2017]

- Figure 28, Radiographie bilatérale de poignet en position poing fermé: diastasis scapho-lunaire sur le poignet droit suspect d'une lésion scapho-lunaire, absent sur le poignet gauche In [Skeletal Radiology 2017, understanding carpal instability: a radiographic perspective, Kani]
- Figure 29. Coupe coronale d'arthroscanner mettant en évidence une fuite de produit de contraste entre le compartiment radio carpien et le compartiment médio carpien au niveau l'interligne scapho-lunaire (flèche rouge) signant la rupture du ligament scapho-lunaire
- Figure 30. Coupes d'arthroIRM: E: Coupe coronale, séquence T1 fat sat, lésion de la portion palmaire du ligament scapho-lunaire (flèche noire) F: Coupe transversale, séquence T1, lésion de la portion dorsale du ligament scapho-lunaire (flèche blanche) et de la portion palmaire (flèche noire) In [Moser, wrist ligament tears: Evaluation of MRI and Combined MDCT and MR Arthrography, 2007]
- Figure 31. Image arthroscopique d'une rupture du ligament scapho-lunaire depuis l'articulation radiocarpienne. Le palpateur peut être passé dans l'espace scapho-lunaire sans difficulté
- Figure 32. Classification arthroscopique de Dautel A: Stade 0, pas de passage possible du crochet B: Stade 1, la pointe du crochet peut être introduite dans l'espace scapho-lunaire C: Stade 2, un diastasis peut être créé en introduisant le crochet dans l'espace scapho-lunaire D: Stade 3 lésion complète du ligament scapho-lunaire, l'optique de la caméra peut être passé de médio

carpien à radio carpien. In [Dreant N, Dautel G. Élaboration d'un score de sévérité arthroscopique pour les instabilités scapho-lunaires. Chir Main. 2003 Apr;22(2):90–4.]

- Figure 33. Ligamentoplastie scapho-lunaire selon la technique de Brunelli, Présentation anglophone (haut de l'image= distal; bas= proximal) In [Athlani L, Pauchard N, Detammaecker R, Huguet S, Lombard J, Dap F, et al. Treatment of chronic scapholunate dissociation with tenodesis: A systematic review. Hand Surgery and Rehabilitation. 2018 Apr 1;37(2):65–76]
- Figure 34. Ligamentoplastie scapho-lunaire selon la technique de Brunelli modifiée par Van Den Abbeele, Présentation anglophone (haut de l'image= distal; bas= proximal) In [Athlani L, Pauchard N, Detammaecker R, Huguet S, Lombard J, Dap F, et al. Treatment of chronic scapholunate dissociation with tenodesis: A systematic review. Hand Surgery and Rehabilitation. 2018 Apr 1;37(2):65–76]
- Figure 35. Ligamentoplastie scapho-lunaire selon la technique de triple ligamentoplastie de Garcia Elias, Présentation anglophone (haut de l'image= distal; bas= proximal) In [Athlani L, Pauchard N, Detammaecker R, Huguet S, Lombard J, Dap F, et al. Treatment of chronic scapholunate dissociation with tenodesis: A systematic review. Hand Surgery and Rehabilitation. 2018 Apr 1;37(2):65–76]
- Figure 36. Ligamentoplastie scapho-lunaire selon la technique SLIC version 2,

In [Athlani L, Pauchard N, Detammaecker R, Huguet S, Lombard J, Dap F, et al. Treatment of chronic scapholunate dissociation with tenodesis: A systematic review. Hand Surgery and Rehabilitation. 2018 Apr 1;37(2):65–76.]

- Figure 37. Flowchart des patients de l'étude
- Figure 38. Greffon tendineux faufile à une extrémité avec du Fiberloop 2.0 ®
- Figure 39. Réduction du diastasis scapho-lunaire grâce aux broches guides placées dans le scaphoïde et le lunatum
- Figure 40. Réalisation des tunnels borgnes dans le pied du scaphoïde, le tubercule du scaphoïde et le lunatum à l'aide d'une mèche de 3,5.
- Figure 41. Impaction du transplant et du Fiber Tape® (laboratoire Arthrex) à l'aide d'une ancre de type Swivelock Dx 3,5® (laboratoire Arthrex) dans les tunnels du scaphoïde et du lunatum en tension maximale
- Figure 42. Mise en place d'une broche scapho capitale
- Figure 43. Résultat en fin d'intervention de la ligamentoplastie "all dorsal scapholunate repair"
- Figure 44. Répartition des patients inclus selon l'âge au moment de la chirurgie
- Figure 45. Répartition des patients inclus selon le type de traumatisme à l'origine de l'instabilité scapho-lunaire
- Figure 46. Images d'arthroscanner du patient ayant décompensé son instabilité scapho-lunaire suite à la chirurgie avec une évolution vers un poignet SLAC Stade IV. On observe d'importantes géodes dans le scaphoïde, le lunatum et le radius.
- Figure 47. Radiographie de contrôle d'un patient à 19 mois post opératoire

avec présence de zones d'ostéolyse autour des ancrés Swivelock Dx 3,5
(arthrex)

N.B.: Les schémas de la main et du poignet ont une présentation soit anglophone soit internationale selon leur source, cependant le sens (proximal/distal) est précisé sur chaque figure afin d'éviter des confusions.

Liste des tableaux:

- Tableau 1. Définitions radiographiques des anomalies d'alignement du carpe de l'instabilité scapho-lunaire
- Tableau 2. Interprétation des résultats du Mayo Wrist Score
- Tableau 3. Données épidémiologiques des patients inclus dans l'étude
- Tableau 4. Résultats moyens des patients inclus au dernier contrôle clinique
- Tableau 5. Analyse des critères radiographiques moyens pré opératoires et post opératoires.
- Tableau 6. Résultats des scores fonctionnels et de satisfaction
- Tableau 7. Résultats en terme de critères socio-économiques
- Tableau 8. Analyse en sous-groupe des résultats de scores fonctionnels et cliniques selon le contexte d'accident de travail. (F= flexion, E= extension, IR=inclinaison radiale, IU= inclinaison ulnaire, QD= quickdash, CL= controlatéral)

- Tableau 9. Analyse en sous-groupe des résultats de scores fonctionnels, et cliniques selon le nombre de broches de stabilisation de la ligamentoplastie. (F= flexion, E= extension, IR=inclinaison radiale, IU= inclinaison ulnaire, QD= quickdash, CL= controlatéral)
- Tableau 10. Analyse en sous-groupe des résultats radiographiques selon le nombre de broches de stabilisation de la ligamentoplastie. ASL: angles scapho-lunaire, ARL: angle radio-lunaire, ARS: angle radio-scaphoïdien, ESL: espace scapho-lunaire
- Tableau 11. Analyse en sous groupe selon le stade de l'instabilité scapho-lunaire. EVA: douleur selon l'échelle visuelle analogique, F: flexion, E: extension, IR: inclinaison radiale, IU: inclinaison ulnaire, QD: quickdash, CL: controlatéral
- Tableau 12. Analyse des critères radiographiques selon le stade de l'instabilité scapho-lunaire. ASL: angles scapho-lunaire, ARL: angle radio-lunaire, ARS: angle radio-scaphoïdien, ESL: espace scapho-lunaire
- Tableau 13. Analyse en sous groupe selon l'ancienneté de la lésion déterminée par le délai entre le traumatisme et la chirurgie. EVA: douleur selon l'échelle visuelle analogique, F: flexion, E: extension, IR: inclinaison radiale, IU: inclinaison ulnaire, QD: quickdash; CL: controlatéral
- Tableau 14. Analyse en sous groupe selon l'ancienneté de la lésion déterminée par le délai entre le traumatisme et la chirurgie. ASL: angles scapho-lunaire, ARL: angle radio-lunaire, ARS: angle radio-scaphoïdien, ESL: espace scapho-lunaire

- Tableau 15. Analyse en sous groupe selon la durée de suivi postopératoire.
EVA: douleur selon l'échelle visuelle analogique, F: flexion, E: extension, IR: inclinaison radiale, IU: inclinaison ulnaire, QD: quickdash; CL: controlatéral
- Tableau 16. Analyse en sous groupe selon le stade d'instabilité scapho-lunaire.
ASL: angles scapho-lunaire, ARL: angle radio-lunaire, ARS: angle radio-scaphoïdien, ESL: espace scapho-lunaire
- Tableau 17. Données expérimentales des seuils de rupture du ligament scapho-lunaire natif vs sa réparation selon différentes techniques (réinsertion seule ou avec internal brace)
- Tableau 18. Comparaison des résultats de techniques de ligamentoplasties en termes de douleur, de mobilités, de force de serrage, de critères radiographiques et de scores fonctionnels (N=nombre de patients, IR: inclinaison radiale, IU: inclinaison ulnaire, CL: controlatéral, ASL: angle scapho-lunaire, ESL: espace scapho-lunaire; en rouge: valeurs supérieures à celles des autres études présentées dans le tableau. QD: QuickDASH

- **ANNEXE VII: liste des abréviations (par ordre alphabétique)**

AMO: ablation matériel d'ostéosynthèse

ASL: angle scapho-lunaire

ARL: angle radio-lunaire

ARS: angle radio-scaphoïdien

CL: controlatéral

DISI: Dorsal intercalated scapholunate instability

E: extension

ECRL: Long extenseur radial du carpe

ECU: extenseur ulnaire du carpe

ESL: espace scapho-lunaire

EVA: échelle visuelle analogique

F: flexion

FCR: fléchisseur radial du carpe

FUC: fléchisseur ulnaire du carpe

IR: inclinaison radiale

IRM: imagerie par résonance magnétique

ISL: instabilité scapho-lunaire

IU: inclinaison ulnaire

LAP: long abducteur du pouce

LSL: ligament scapho-lunaire

Mm: millimètres

PRWE: patient rated wrist questionnaire

QD: quick disabilities of the arm, shoulder and hand questionnaire

SLAC: scapho lunate advanced collapse

SL: scapho-lunaire

SLAM: scapho-lunate axis method

SLIC: scapho lunate intercarpal ligamentoplasty

SLITT 360: scapho-lunate internal brace 360 tenodesis

THÈSE SOUTENUE PAR : HELFTER Laura

TITRE : LIGAMENTOPLASTIES DANS LES INSTABILITÉS SCAPHO-LUNAIRES
RÉSULTATS À COURT TERME DE LA TECHNIQUE « ALL DORSAL
SCAPHOLUNATE REPAIR »

CONCLUSION :

La technique « all Dorsal Scapho-Lunate Repair » développée par le Dr Steven S. Shin en collaboration avec le laboratoire Arthrex est une technique récente de ligamentoplastie SL indiquée pour les stades 3 et 4 de la classification de Garcia Elias. Nos résultats cliniques et fonctionnels à court terme sont encourageants, et comparables aux autres techniques de ligamentoplastie SL. En revanche, nos résultats radiographiques sont plus limités avec la persistance d'un diastasis scapho-lunaire et des angles intra et radio carpiens dans les limites du DISI et de la subluxation dorsale du scaphoïde. Il serait intéressant aux vues des résultats obtenus de réaliser une étude comparative avec une autre technique de ligamentoplastie scapho-lunaire afin d'établir ou non la supériorité de cette technique et d'évaluer les résultats de notre technique à long terme en espérant une amélioration de certains critères cliniques et fonctionnels avec le temps et une pérennisation des critères radiologiques. De plus, certaines inquiétudes quant aux cas d'ostéolyse autour des zones d'implantation des ancrs ou l'absence d'intégration du FiberTape sont à réévaluer à distance. Ces résultats nous invitent également à vouloir faire évoluer la technique notamment en retirant la notion de broche de stabilisation, ou encore la diminution voire le retrait de l'immobilisation en postopératoire.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER

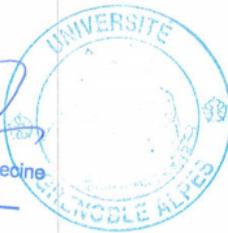
Grenoble, le :

LE DOYEN

Pr. Patrice MORAND

Le Doyen de l'UFR de Médecine

Pr. Patrice MORAND



LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE

Pr. Jerome TONETTI

CHU DE GRENOBLE
HÔPITAL A. MICHALON
ORTHOPÉDIE-TRAUMATOLOGIE
Pr. J. TONETTI
RPS : 1000299585