



HAL
open science

Greffe osseuse sous arthroscopie des pseudarthroses du scaphoïde : technique chirurgicale et résultats d'une série bicentrique de 42 cas

Bérangère Lamon

► **To cite this version:**

Bérangère Lamon. Greffe osseuse sous arthroscopie des pseudarthroses du scaphoïde : technique chirurgicale et résultats d'une série bicentrique de 42 cas. Médecine humaine et pathologie. 2020. hal-03298069

HAL Id: hal-03298069

<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-03298069>

Submitted on 18 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 et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-thesesexercice-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

2020

FACULTÉ DE MÉDECINE DE

NANCY

THÈSE

Pour obtenir le grade de
DOCTEUR EN MÉDECINE

Présentée et soutenue publiquement

Dans le cadre du troisième cycle de Médecine Spécialisée - Chirurgie

Par

Bérangère LAMON

Le 12 juin 2020

**« Greffe osseuse sous arthroscopie des pseudarthroses du scaphoïde :
technique chirurgicale et résultats d'une série bicentrique de 42 cas »**

Membres du Jury :

Monsieur le Professeur Gilles DAUTEL

Président

Monsieur le Professeur François DAP

Juge

Monsieur le Professeur Pedro GONDIM TEIXEIRA

Juge

Monsieur le Docteur Ludovic ARDOUIN

Juge

Monsieur le Docteur Lionel ATHLANI

Juge et Directeur



UNIVERSITÉ
DE LORRAINE



FACULTÉ de MÉDECINE
NANCY

Président de l'Université de Lorraine :
Professeur Pierre MUTZENHARDT
Doyen de la Faculté de Médecine
Professeur Marc BRAUN

Vice-doyenne

Pr Laure JOLY

Assesseurs :

Premier cycle : Dr Nicolas GAMBIER

Deuxième cycle : Dr Antoine KIMMOUN

Troisième cycle : Pr Laure JOLY

Formation à la recherche : Pr Nelly AGRINIER

Relations Grande Région : Pr Thomas FUCHS-BUDER

CUESIM : Pr Stéphane ZUILY

SIDES : Dr Julien BROSEUS

Vie Facultaire : Dr Philippe GUERCI

Etudiant : Mme Audrey MOUGEL

Chargés de mission

Docimologie : Dr Jacques JONAS

Orthophonie : Pr Cécile PARIETTI-WINKLER

PACES : Pr Mathias POUSSEL

Relations internationales : Pr Jacques HUBERT

Présidente du Conseil de la Pédagogie : Pr Louise TYVAERT

Président du Conseil Scientifique : Pr Jean-Michel HASCOET

=====

DOYENS HONORAIRES

Professeur Jean-Bernard DUREUX - Professeur Jacques ROLAND - Professeur Patrick NETTER -

Professeur Henry COUDANE

=====

PROFESSEURS HONORAIRES

Etienne ALIOT - Jean-Marie ANDRE - Alain AUBREGE - Gérard BARROCHE - Alain
BERTRAND - Pierre BEY -

Marc-André BIGARD - Patrick BOISSEL – Pierre BORDIGONI - Jacques BORRELLY - Michel
BOULANGE -

Jean-Louis BOUTROY – Serge BRIANÇON - Jean-Claude BURDIN - Claude BURLET - Daniel
BURNEL - Claude CHARDOT Jean-François CHASSAGNE - François CHERRIER – Henry
COUDANE - Jean-Pierre CRANCE - Jean-Pierre DESCHAMPS - Jean-Bernard DUREUX - Gilbert
FAURE - Gérard FIEVE - Bernard FOLIGUET - Jean FLOQUET - Robert FRISCH -

Alain GAUCHER - Pierre GAUCHER - Jean-Luc GEORGE - Alain GERARD - Hubert GERARD -
Jean-Marie GILGENKRANTZ - Simone GILGENKRANTZ - Gilles GROSDIDIER - François
GUILLEMIN - Philippe HARTEMANN - Gérard HUBERT -

Claude HURIET - Michèle KESSLER - François KOHLER - Henri LAMBERT - Pierre LANDES -
Pierre LASCOMBES -

Marie-Claire LAXENAIRE - Michel LAXENAIRE - Alain LE FAOU - Jacques LECLERE - Pierre
LEDERLIN - Bernard LEGRAS - Jean-Pierre MALLIÉ - Philippe MANGIN - François MARCHAL -
Jean-Claude MARCHAL – Yves MARTINET - Pierre MATHIEU - Michel MERLE - Daniel MOLÉ -
Pierre MONIN - Pierre NABET – Patrick NETTER - Jean-Pierre NICOLAS - Francis PENIN -
Claude PERRIN - Luc PICARD - François PLENAT - Jean-Marie POLU - Jacques POUREL -
Francis RAPHAEL - Antoine RASPILLER - Denis REGENT - Jacques ROLAND - Daniel
SCHMITT - Michel SCHMITT - Michel SCHWEITZER -

Daniel SIBERTIN-BLANC - Claude SIMON - Danièle SOMMELET - Jean-François STOLTZ -
Michel STRICKER - Gilbert THIBAUT - Paul VERT - Hervé VESPIGNANI - Colette VIDAILHET -
Michel VIDAILHET - Jean-Pierre VILLEMOT -

Michel WEBER – Denis ZMIROU - Faïez ZANNAD

=====

PROFESSEURS ÉMÉRITES

Etienne ALIOT - Pierre BEY - Henry COUDANE - Serge BRIANÇON - Jean-Marie
GILGENKRANTZ - Simone GILGENKRANTZ - Michèle KESSLER - Alain LE FAOU - Patrick
NETTER - Jean-Pierre NICOLAS - Luc PICARD - François PLENAT -

Jean-Pierre VILLEMOT - Faïez ZANNAD

=====

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

(Disciplines du Conseil National des Universités)

42^e Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE

1^{re} sous-section : (*Anatomie*)

Professeur Marc BRAUN – Professeure Manuela PEREZ

2^e sous-section : (*Histologie, embryologie et cytogénétique*)

Professeur Christo CHRISTOV

3^e sous-section : (*Anatomie et cytologie pathologiques*)

Professeur Guillaume GAUCHOTTE

43^e Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDICALE

1^{re} sous-section : (*Biophysique et médecine nucléaire*)

Professeur Gilles KARCHER – Professeur Pierre-Yves MARIE – Professeur Pierre OLIVIER -
Professeur Antoine VERGER

2^e sous-section : (*Radiologie et imagerie médicale*)

Professeur René ANXIONNAT - Professeur Alain BLUM - Professeur Serge BRACARD -
Professeure Valérie CROISÉ - Professeur Jacques FELBLINGER - Professeur Benjamin GORY -
Professeur Damien MANDRY - Professeur Pedro GONDIM TEIXEIRA

44^e Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION

1^{re} sous-section : (*Biochimie et biologie moléculaire*)

Professeur Jean-Louis GUEANT - Professeur Bernard NAMOUR - Professeur Jean-Luc OLIVIER

2^e sous-section : (*Physiologie*)

Professeur Christian BEYAERT - Professeur Bruno CHENUÉL - Professeur Mathias POUSSEL

3^e sous-section (*Biologie cellulaire*)

Professeure Véronique DECOT-MAILLERET

4^e sous-section : (*Nutrition*)

Professeur Didier QUILLIOT - Professeure Rosa-Maria RODRIGUEZ-GUEANT - Professeur Olivier
ZIEGLER

45^e Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE

1^{re} sous-section : (*Bactériologie – virologie ; hygiène hospitalière*)

Professeur Alain LOZNIIEWSKI – Professeure Evelyne SCHVOERER

2° sous-section : (*Parasitologie et Mycologie*)

Professeure Marie MACHOUART

3° sous-section : (*Maladies infectieuses ; maladies tropicales*)

Professeur Bruno HOEN - Professeur Thierry MAY - Professeure Céline PULCINI - Professeur
Christian RABAUD

46° Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

1^{re} sous-section : (*Épidémiologie, économie de la santé et prévention*)

Professeure Nelly AGRINIER - Professeur Francis GUILLEMIN

4° sous-section : (*Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication*)

Professeure Eliane ALBUISSON - Professeur Nicolas JAY

47° Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE

1^{re} sous-section : (*Hématologie ; transfusion*)

Professeur Pierre FEUGIER

2° sous-section : (*Cancérologie ; radiothérapie*)

Professeur Thierry CONROY - Professeur Frédéric MARCHAL - Professeur Didier PEIFFERT -
Professeur Guillaume VOGIN

3° sous-section : (*Immunologie*)

Professeur Marcelo DE CARVALHO-BITTENCOURT - Professeure Marie-Thérèse RUBIO

4° sous-section : (*Génétiq*ue)

Professeur Philippe JONVEAUX - Professeur Bruno LEHEUP

**48° Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE,
PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE**

1^{re} sous-section : (*Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire*)

Professeur Gérard AUDIBERT - Professeur Hervé BOUAZIZ - Professeur Thomas FUCHS-BUDER

Professeure Marie-Reine LOSSER - Professeur Claude MEISTELMAN

2° sous-section : (*Médecine intensive-réanimation*)

Professeur Pierre-Édouard BOLLAERT - Professeur Sébastien GIBOT - Professeur Bruno LÉVY

3° sous-section : (*Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie*)

Professeur Pierre GILLET - Professeur Jean-Yves JOUZEAU

4^e sous-section : (Thérapeutique-médecine de la douleur ; addictologie)

Professeur Nicolas GIRERD - Professeur François PAILLE - Professeur Patrick ROSSIGNOL

49^e Section : PATHOLOGIE NERVEUSE ET MUSCULAIRE, PATHOLOGIE MENTALE, HANDICAP ET RÉÉDUCATION

1^{re} sous-section : (Neurologie)

Professeur Marc DEBOUVERIE - Professeur Louis MAILLARD - Professeur Sébastien RICHARD -
Professeur Luc TAILLANDIER Professeure Louise TYVAERT

2^e sous-section : (Neurochirurgie)

Professeur Thierry CIVIT - Professeure Sophie COLNAT-COULBOIS - Professeur Olivier KLEIN

3^e sous-section : (Psychiatrie d'adultes ; addictologie)

Professeur Jean-Pierre KAHN – Professeur Vincent LAPREVOTE - Professeur Raymund SCHWAN

4^e sous-section : (Pédopsychiatrie ; addictologie)

Professeur Bernard KABUTH

5^e sous-section : (Médecine physique et de réadaptation)

Professeur Jean PAYSANT

50^e Section : PATHOLOGIE OSTÉO-ARTICULAIRE, DERMATOLOGIE ET CHIRURGIE PLASTIQUE

1^{re} sous-section : (Rhumatologie)

Professeure Isabelle CHARY-VALCKENAERE - Professeur Damien LOEUILLE

2^e sous-section : (Chirurgie orthopédique et traumatologique)

Professeur Laurent GALOIS - Professeur Didier MAINARD - Professeur François SIRVEAUX

3^e sous-section : (Dermato-vénérologie)

Professeure Anne-Claire BURSZTEJN - Professeur Jean-Luc SCHMUTZ

4^e sous-section : (Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie)

Professeur François DAP - Professeur Gilles DAUTEL - Professeur Etienne SIMON

51^e Section : PATHOLOGIE CARDIO-RESPIRATOIRE ET VASCULAIRE

1^{re} sous-section : (Pneumologie ; addictologie)

Professeur Jean-François CHABOT - Professeur Ari CHAOUAT

2^e sous-section : (Cardiologie)

Professeur Edoardo CAMENZIND - Professeur Christian de CHILLOU DE CHURET - Professeur
Yves JUILLIERE

Professeur Nicolas SADOUL

3^e sous-section : (*Chirurgie thoracique et cardiovasculaire*)

Professeur Juan-Pablo MAUREIRA - Professeur Stéphane RENAUD

4^e sous-section : (*Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire*)

Professeur Sergueï MALIKOV - Professeur Denis WAHL – Professeur Stéphane ZUILY

52^e Section : MALADIES DES APPAREILS DIGESTIF ET URINAIRE

1^{re} sous-section : (*Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie*)

Professeur Jean-Pierre BRONOWICKI - Professeur Laurent PEYRIN-BIROULET

2^e sous-section : (*Chirurgie viscérale et digestive*)

Professeur Ahmet AYAV - Professeur Laurent BRESLER - Professeur Laurent BRUNAUD –
Professeure Adeline GERMAIN

3^e sous-section : (*Néphrologie*)

Professeur Luc FRIMAT - Professeure Dominique HESTIN

4^e sous-section : (*Urologie*)

Professeur Pascal ESCHWEGE - Professeur Jacques HUBERT

53^e Section : MÉDECINE INTERNE, GÉRIATRIE ET MÉDECINE GÉNÉRALE

1^{re} sous-section : (*Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie*)

Professeur Athanase BENETOS - Professeur Jean-Dominique DE KORWIN - Professeure Gisèle
KANNY

Professeure Christine PERRET-GUILLAUME – Professeur Roland JAUSSAUD – Professeure Laure
JOLY

3^e sous-section : (*Médecine générale*)

Professeur Jean-Marc BOIVIN – Professeur Paolo DI PATRIZIO

**54^e Section : DÉVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNÉCOLOGIE-
OBSTÉTRIQUE, ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION**

1^{re} sous-section : (*Pédiatrie*)

Professeur Pascal CHASTAGNER - Professeur François FEILLET - Professeur Jean-Michel
HASCOET

Professeur Emmanuel RAFFO - Professeur Cyril SCHWEITZER

2^e sous-section : (*Chirurgie infantile*)

Professeur Pierre JOURNEAU - Professeur Jean-Louis LEMELLE

3^e sous-section : (Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale)

Professeur Philippe JUDLIN - Professeur Olivier MOREL

4^e sous-section : (Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale)

Professeur Bruno GUERCI - Professeur Marc KLEIN - Professeur Georges WERYHA

55^e Section : PATHOLOGIE DE LA TÊTE ET DU COU

1^{re} sous-section : (Oto-rhino-laryngologie)

Professeur Roger JANKOWSKI - Professeure Cécile PARIETTI-WINKLER

2^e sous-section : (Ophtalmologie)

Professeure Karine ANGIOI - Professeur Jean-Paul BERROD

3^e sous-section : (Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie)

Professeure Muriel BRIX

=====

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS

61^e Section : GÉNIE INFORMATIQUE, AUTOMATIQUE ET TRAITEMENT DU SIGNAL

Professeur Walter BLONDEL

64^e Section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

Professeure Sandrine BOSCHI-MULLER - Professeur Pascal REBOUL

65^e Section : BIOLOGIE CELLULAIRE

Professeure Céline HUSELSTEIN

=====

PROFESSEUR ASSOCIÉ DE MÉDECINE GÉNÉRALE

Professeure associée Sophie SIEGRIST

Professeur associé Olivier BOUCHY

=====

MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

42° Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE

1^{re} sous-section : (*Anatomie*)

Docteur Bruno GRIGNON

2° sous-section : (*Histologie, embryologie, et cytogénétique*)

Docteure Isabelle KOSCINSKI

44° Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION

1^{re} sous-section : (*Biochimie et biologie moléculaire*)

Docteure Shyue-Fang BATTAGLIA - Docteure Sophie FREMONT - Docteure Catherine MALAPLATE - Docteur Marc MERTEN - Docteur Abderrahim OUSSALAH

2° sous-section : (*Physiologie*)

Docteure Silvia DEMOULIN-ALEXIKOVA - Docteur Jacques JONAS

45° Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE

1^{re} sous-section : (*Bactériologie – Virologie ; hygiène hospitalière*)

Docteure Corentine ALAUZET - Docteure Hélène JEULIN - Docteure Véronique VENARD

2° sous-section : (*Parasitologie et mycologie*)

Docteure Anne DEBOURGOGNE

46° Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

1^{re} sous-section : (*Epidémiologie, économie de la santé et prévention*)

Docteur Cédric BAUMANN - Docteure Frédérique CLAUDOT - Docteur Alexis HAUTEMANIÈRE

Docteur Arnaud FLORENTIN (stagiaire)

2° sous-section (*Médecine et Santé au Travail*)

Docteure Isabelle THAON

3° sous-section (*Médecine légale et droit de la santé*)

Docteur Laurent MARTRILLE

47° Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE

1^{re} sous-section : (*Hématologie ; transfusion*)

Docteur Julien BROSEUS – Docteure Maud D’AVENI

2° sous-section : (*Cancérologie ; radiothérapie*)

Docteure Lina BOLOTINE

3° sous-section : (*Immunologie*)

Docteure Alice AARNINK (stagiaire)

4° sous-section : (*Génétique*)

Docteure Céline BONNET

**48° Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE,
PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE**

1° sous-section : (*Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire*)

Docteur Philippe GUERCI

2° sous-section : (*Médecine intensive-réanimation*)

Docteur Antoine KIMMOUN

3° sous-section : (*Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie*)

Docteur Nicolas GAMBIER - Docteure Françoise LAPICQUE - Docteur Julien SCALA-BERTOLA

**49° Section : PATHOLOGIE NERVEUSE ET MUSCULAIRE, PATHOLOGIE MENTALE,
HANDICAP ET RÉÉDUCATION**

2° sous-section : (*Neurochirurgie*)

Docteur Fabien RECH (stagiaire)

3° sous-section : (*Psychiatrie d'adultes ; addictologie*)

Docteur Thomas SCHWITZER (stagiaire)

**50° Section : PATHOLOGIE OSTÉO-ARTICULAIRE, DERMATOLOGIE ET CHIRURGIE
PLASTIQUE**

4° sous-section : (*Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie*)

Docteure Laetitia GOFFINET-PLEUTRET

51° Section : PATHOLOGIE CARDIO-RESPIRATOIRE ET VASCULAIRE

3° sous-section : (*Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire*)

Docteur Fabrice VANHUYSE

4° sous-section : (*Chirurgie vasculaire ; Médecine vasculaire*)

Docteure Nicla SETTEMBRE

52° Section : MALADIES DES APPAREILS DIGESTIF ET URINAIRE

1^{re} sous-section : (*Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie*)

Docteur Anthony LOPEZ

2° sous-section : (Chirurgie viscérale et digestive)

Docteur Cyril PERRENOT

53° Section : MÉDECINE INTERNE, GÉRIATRIE ET MÉDECINE GÉNÉRALE

3° sous-section : (*Médecine générale*)

Docteure Kénora CHAU (stagiaire)

54° Section : DEVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE, ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION

4° sous-section : (*Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; Gynécologie médicale*)

Docteure Eva FEIGERLOVA

5° sous-section : (*Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale*)

Docteur Mikaël AGOPIANTZ (stagiaire)

55° Section : PATHOLOGIE DE LA TÊTE ET DU COU

1^{re} sous-section : (*Oto-Rhino-Laryngologie*)

Docteur Patrice GALLET

=====

MAÎTRES DE CONFÉRENCES

5° Section : SCIENCES ÉCONOMIQUES

Monsieur Vincent LHUILLIER

7° Section : SCIENCES DU LANGAGE : LINGUISTIQUE ET PHONETIQUE GENERALES

Madame Christine DA SILVA-GENEST

19° Section : SOCIOLOGIE, DÉMOGRAPHIE

Madame Joëlle KIVITS

64° Section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

Madame Marie-Claire LANHERS - Monsieur Nick RAMALANJAONA

65° Section : BIOLOGIE CELLULAIRE

Madame Nathalie AUCHET - Madame Natalia DE ISLA-MARTINEZ - Monsieur Christophe NEMOS

66° Section : PHYSIOLOGIE

Monsieur Nguyen TRAN

69° Section : NEUROSCIENCES

Madame Sylvie MULTON

=====

MAÎTRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS DE MÉDECINE GÉNÉRALE

Docteur Cédric BERBE

=====

DOCTEURS HONORIS CAUSA

Professeur Charles A. BERRY (1982)

*Centre de Médecine Préventive,
Houston (U.S.A)*

Professeur Pierre-Marie GALETTI
(1982)

Brown University, Providence (U.S.A)

Professeure Mildred T. STAHLMAN
(1982)

Vanderbilt University, Nashville (U.S.A)

Professeur Théodore H. SCHIEBLER
(1989)

*Institut d'Anatomie de Würzburg
(R.F.A)*

Professeur Mashaki KASHIWARA
(1996)

*Research Institute for Mathematical
Sciences de Kyoto (JAPON)*

Professeure Maria DELIVORIA-
PAPADOPOULOS (1996) *Université de
Pennsylvanie (U.S.A)*

Professeur Ralph GRÄSBECK (1996)
Université d'Helsinki (FINLANDE)

Professeur Duong Quang TRUNG
(1997)

*Université d'Hô Chi Minh-Ville
(VIÊTNAM)*

Professeur Daniel G. BICHET (2001)
Université de Montréal (Canada)

Professeur Marc LEVENSTON (2005)
Institute of Technology, Atlanta (USA)

Professeur Brian
BURCHELL (2007)

*Université de Dundee
(Royaume-Uni)*

Professeur Yunfeng ZHOU
(2009)

*Université de Wuhan
(CHINE)*

Professeur David ALPERS
(2011)

*Université de Washington
(U.S.A)*

Professeur Martin EXNER
(2012)

*Université de Bonn
(ALLEMAGNE)*

REMERCIEMENTS

A notre Maître et Président de thèse,

Monsieur le Professeur Gilles Dautel,

Professeur des Universités - Praticien Hospitalier en chirurgie plastique reconstructrice et esthétique. Chef de service de Chirurgie de la main, Chirurgie plastique et reconstructrice de l'appareil locomoteur du CHU de Nancy.

Vous nous faites l'honneur de présider cette thèse et nous tenons à vous exprimer notre réelle gratitude pour la confiance que vous nous accordez.

Vous nous faites bénéficier de votre immense expérience et savoir en chirurgie de la main et nous sommes très fiers d'être votre élève et de pouvoir travailler à vos côtés.

Votre dextérité chirurgicale nous impressionnera toujours et vous resterez pour nous un modèle à suivre.

Nous vous prions de croire en notre plus grand respect et soyez assuré de notre profonde admiration.

A notre Maître et Juge,

Monsieur le Professeur François Dap,

Professeur des Universités - Praticien Hospitalier en chirurgie plastique reconstructrice et esthétique.

Vous nous faites l'honneur de juger ce travail de thèse.

Votre culture générale et bibliographique nous impressionnera toujours et nous sommes fiers de pouvoir enrichir notre expérience avec vous.

Votre enseignement se fait dans la bonne humeur et c'est un plaisir d'apprendre à vos côtés.

Soyez assuré de notre plus grand respect et de notre profonde admiration.

A notre Maître et Juge,

Monsieur le Professeur Pedro Gondim Teixeira,

Professeur des Universités - Praticien Hospitalier en radiologie et imagerie médicale.

Nous vous remercions d'avoir accepté de juger ce travail de thèse.

Votre expérience et vos compétences en imagerie sont impressionnantes et nous sommes fiers de pouvoir travailler en collaboration avec vous.

C'est un honneur de vous compter parmi notre jury.

A mon Maître et Juge,

Monsieur le Docteur Ludovic Ardouin,

Chirurgien Orthopédiste et Traumatologue, Chirurgien de la main à l'Institut de la main Nantes-Atlantique.

Je te remercie d'avoir accepté de juger ce travail de thèse pour lequel tu m'as beaucoup apporté.

Ta présence dans ce jury est un honneur.

Tu es un arthroscopiste hors pair, je resterai toujours impressionnée par ton expérience, ta dextérité et ta technique chirurgicale en chirurgie de la main, et suis toujours ravie d'être au bloc avec toi.

Je suis très fière d'avoir pu travailler et apprendre autant de choses à tes côtés tout en musique.

A mon Maître et Directeur de thèse,

Monsieur le Docteur Lionel Athlani,

Praticien Hospitalo-Universitaire en chirurgie orthopédique et traumatologique.

Je te remercie de la confiance que tu m'as accordée en me proposant ce travail de thèse.

C'est un honneur et une chance de t'avoir comme Directeur de thèse.

Tes connaissances et ta technique chirurgicale sont exemplaires, je suis très fière de pouvoir apprendre et travailler à tes côtés.

Je te remercie infiniment pour ton aide, ton immense disponibilité et le temps que tu m'as consacré dans la préparation et l'écriture de cette thèse.

Sois assuré de ma profonde admiration et de ma grande reconnaissance.

A mon Maître Monsieur le Docteur Philippe Bellemère,

Chirurgien Orthopédiste et Traumatologue, Chirurgien de la main, Chef de service à l'Institut de la main Nantes-Atlantique.

Vous m'avez accueilli dans votre service avec la plus grande gentillesse. J'ai eu le grand privilège de pouvoir travailler un an à vos côtés.

Votre immense expérience chirurgicale et anatomique restera pour moi un modèle à suivre.

Je vous remercie infiniment de m'avoir permis d'enrichir autant mon apprentissage de la chirurgie de la main. Votre accessibilité est particulièrement appréciable et c'est toujours un honneur et un plaisir de vous assister au bloc opératoire ou en consultation.

Soyez assuré de mon profond respect et de ma grande admiration à votre égard.

A mes Maîtres d'internat :

Monsieur le Professeur L.Galois, Monsieur le Professeur P. Journeau, Monsieur le Professeur D. Mainard, Monsieur le Professeur S. Malikov, Monsieur le Professeur P. Maureira.

Aux chirurgiens de l'Institut de la main Nantes-Atlantique :

Madame le Docteur F.A Lecoq, Monsieur le Docteur Y. Bouju, Monsieur le Docteur A. Fournier, Monsieur le Docteur E. Gaisne, Monsieur le Docteur Y. Kerjean, Monsieur le Docteur M. Leroy, Monsieur le Docteur T. Loubersac.

Vous m'avez accueilli avec la plus grande sympathie et je suis ravie et honorée d'avoir pu travailler et apprendre à vos côtés. Je vous remercie tous très chaleureusement pour m'avoir fait partager votre expérience si enrichissante avec bonne humeur et dans une ambiance excellente.

Aux chirurgiens du SOS main de Lille :

Monsieur le Docteur A. Aumar, Monsieur le Docteur P. Auzias, Monsieur le Docteur Houze, Monsieur le Docteur P. Mesnil, Monsieur le Docteur M. Rtaimate, Monsieur le Docteur A. Thiounn, Monsieur le Docteur G. Wavreille et tous les autres.

Je vous remercie pour ce semestre formidable passé à vos côtés durant lequel j'ai tant appris.

A mes Praticiens Hospitaliers :

Madame le Docteur J. Girot, Madame le Docteur J. Lombard, Madame le Docteur A. Breton, Madame le Docteur A. Martellotto, Madame le Docteur L. Goffinet, Madame le Docteur Florence Muller, Monsieur le Docteur S. Barbary, Monsieur le Docteur Z. Bouziane, Monsieur le Docteur M. Kaaik.

Merci à Juliette pour sa bonne humeur et son dévouement pour les patients du CRIOAC.

A mes Chefs de Clinique et Assistants :

Hélène Agneray, Sophie Sabau, Rémi Belleville, Camilo Chaves, Yoan Kim De Almeida, Romain Detammaecker, François Egrise, Vladimir Gomola, Jean-Baptiste Gross, Olivier Larmure, Victor Lestienne, Hugo Maschino.

Merci pour tout ce que vous m'avez appris, de m'avoir accompagné pendant mon internat, soutenu, fait rire, pleurer, mais toujours tiré vers le haut. A mes actuels Camilo et Victor, merci pour votre bienveillance et votre gentillesse.

Aux équipes paramédicales, du bloc, de la consultation, du secteur et des urgences.

A mes parents, à qui je dois tant de choses, merci pour votre soutien infailible.

A mes frères et sœurs, Charlotte, Fleur et Gaspard.

A ma famille,

A mes amis parisiens, nancéiens, nantais, et à mes fidèles co-internes, Elsy, Cec, Jacqui, Cam, Clothly, Madame Audouin, Messire, Giorgia, Flaus, Raphi, Vincent, Noëlla, Coco, Julien, Joan, Mathoune, Dijon (ma plus fidèle co-interne), Cécé, Nana, Dodine, Coline, Omar, Quinio, Lauriane, Guimauve, Régi, Legrise, Françoise, Alexandre, Père Galliot, Sizu, Max, Camille, Boubou, Saint Genix, FHK, Lhu, Charlotte, Aurélie, Adeline, Elo, Martine, Océane. Et à Mathieu, pour m'avoir soutenu et guidé durant mon parcours.

A mes regrettés Peter, Aristide, Hippolyte, et mes actuels Margotte et Dagobert, pour m'avoir fidèlement accompagné durant toutes ces années.

Serment

« Au moment d'être admise 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.

Admise dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me sont confiés. Reçue 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 déshonorée et méprisée si j'y manque ».

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE : ÉTAT DES CONNAISSANCES ACTUELLES	24
1. Généralités.....	25
2. Rappel sur la vascularisation de l'os scaphoïde	26
3. Physiopathologie et évolution des pseudarthroses du scaphoïde	27
4. Bilan diagnostic et pronostic des pseudarthroses du scaphoïde	29
4.1 Bilan d'imagerie	29
4.2 Classifications des fractures du scaphoïde	33
4.3 Classifications des pseudarthroses du scaphoïde.....	34
5. Historique et techniques chirurgicales conventionnelles	36
5.1 Vissage percutané sans greffe osseuse	36
5.2 Greffes osseuses non vascularisées	36
5.3 Greffes osseuses vascularisées	38
5.4 Résultats des techniques conventionnelles	39
5.4.1 Taux et délai de consolidation osseuse	39
5.4.2 Résultats cliniques et fonctionnels.....	40
5.4.3 Cas des pôles proximaux et des nécroses avasculaires	40
5.4.4 Complications et reprises chirurgicales	41
6. Apport de l'arthroscopie dans le traitement chirurgical.....	42
DEUXIÈME PARTIE : ARTICLE SCIENTIFIQUE.....	43
RÉSUMÉ.....	45
INTRODUCTION	46
MATÉRIEL ET MÉTHODES	47
RÉSULTATS.....	53
DISCUSSION.....	57
Références	60
Annexes	64
1. Score Quick Dash	64
2. Score PRWE.....	65

PREMIÈRE PARTIE : ÉTAT DES CONNAISSANCES ACTUELLES

1. Généralités

Les fractures de l'os scaphoïde sont fréquentes et représentent jusqu'à 60% des fractures des os du carpe (Hove, 1999). Elles surviennent majoritairement chez des sujets jeunes dans les suites d'un traumatisme en hyperextension – compression du poignet.

Une des principales complications est la pseudarthrose dont le taux est estimé, quel que soit le niveau de la fracture, entre 10 et 15% (Hovius et De Jong, 2015).

Les pseudarthroses du scaphoïde sont définies par une absence de consolidation au-delà du 6^{ème} mois. Avant ce délai, il est d'usage d'employer le terme de « retard de consolidation ». Certains facteurs sont reconnus comme favorisant le risque de pseudarthrose tels que le tabac, le retard de diagnostic de la fracture initiale, la localisation proximale du trait de fracture, son déplacement, son caractère jugé instable, ainsi que la nécrose avasculaire (AVN) du pôle proximal et la présence de lésions ligamentaires associées (Özalp et al., 2015; Pao et Chang, 2003; Schuind et al., 1999)

En l'absence de traitement adapté, les pseudarthroses du scaphoïde évoluent progressivement vers la dégénérescence arthrosique de type Scaphoid Nonunion Advanced Collapse - SNAC (Ruby et al., 1985; Vender et al., 1987). Cette arthrose est la conséquence de la déformation morphologique du scaphoïde responsable d'une altération de la biomécanique du carpe avec collapsus intracarpien (Berdia et Wolfe, 2001).

En l'absence d'arthrose SNAC, le traitement sera conservateur avec pour objectifs la consolidation du scaphoïde et la restitution de sa morphologie. Plusieurs techniques chirurgicales sont actuellement proposées pour ces stades préarthrosiques, allant du simple vissage en compression, aux greffes osseuses vascularisées (pédiculées ou libres), passant par les greffes osseuses non vascularisées (spongieuses ou cortico-spongieuses) (Yeo et Kim, 2018)

De manière générale, ces traitements conduisent à d'excellents taux de consolidation mais aucun n'a prouvé sa supériorité (Ferguson et al., 2016; Munk et Larsen, 2004; Pinder et al., 2015).

L'apport de l'arthroscopie comme alternative à ces techniques dites « conventionnelles » est assez récente. Les premières études rapportant les résultats cliniques et radiologiques de cette technique sont assez encourageantes. Outre le caractère moins enraidissant retrouvé par la majorité des auteurs, la préservation de la vascularisation du scaphoïde et le respect des structures capsulo-ligamentaires représentent deux éléments mis en avant (Jegal et al., 2015).

2. Rappel sur la vascularisation de l'os scaphoïde

Le scaphoïde possède une vascularisation de type terminal, à pédicule principal unique et rétrograde provenant de l'artère radiale. La branche scaphoïdienne dorsale vascularise les 70 à 80% proximaux et la branche scaphoïdienne palmaire les 20 à 30% distaux (Gelberman et Menon, 1980). L'absence d'anastomose entre ces deux systèmes expose le tiers proximal du scaphoïde à une vascularisation précaire. Toute fracture peut interrompre la vascularisation du pôle proximal qui est donc le plus à risque de pseudarthrose mais également d'AVN.

Le groupe dorsal est issu du segment postérieur de l'artère radiale ou de l'arcade dorsale du carpe ; il est formé de très nombreux vaisseaux de calibre moyen qui abordent l'os sur toute l'étendue de la gouttière postérieure du scaphoïde au niveau de son isthme. La branche dorsale du scaphoïde, la plus volumineuse, assure à elle seule 70 à 80% de la vascularisation du scaphoïde et en particulier la totalité du pôle proximal de façon rétrograde (Gelberman et Menon, 1980).

Le groupe palmaire est issu de l'artère radiale, de son rameau superficiel et accessoirement de la partie latérale de l'arcade palmaire profonde ; ces vaisseaux sont deux fois moins nombreux, mais ils sont volumineux et disséminés à la face antérieure du scaphoïde, essentiellement au niveau de son tubercule. Ils assurent 20 à 30% de la vascularisation du scaphoïde. Il n'y a pas d'apport vasculaire par le ligament scapho-lunaire.

Au vu de ces constatations anatomiques, une fracture passant en amont de l'isthme compromettrait la vascularisation du pôle proximal du scaphoïde (Figures 1 et 2).

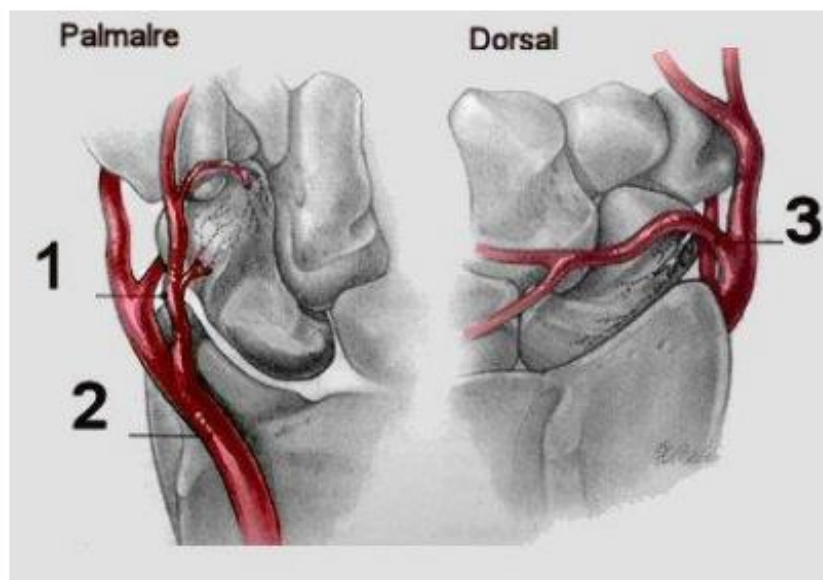


Figure 1. Schémas illustrant la vascularisation de l'os scaphoïde. 1 : branche superficielle palmaire de l'artère radiale, 2 : artère radiale, 3 : branche carpienne dorsale de l'artère radiale

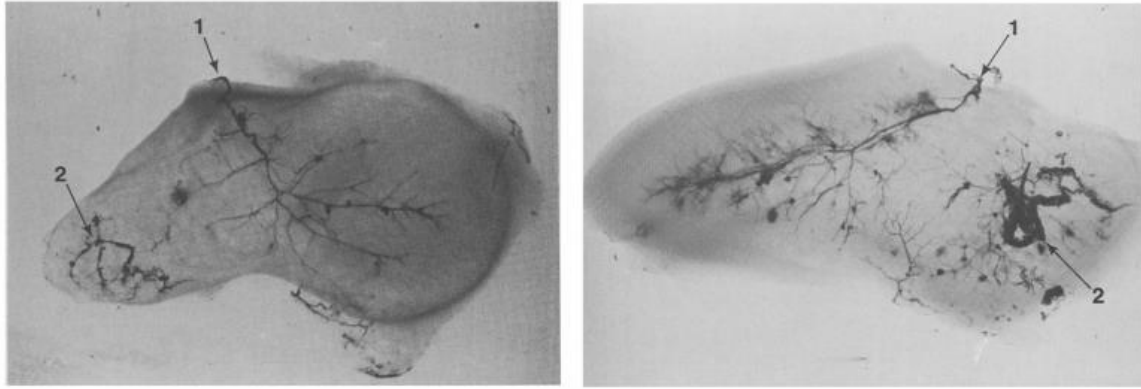


Figure 2. Artériographie montrant l'absence d'anastomose intrascaphoïdienne entre les pédicules vasculaires. 1 : branche scaphoïdienne dorsale, 2 : branche scaphoïdienne palmaire

3. Physiopathologie et évolution des pseudarthroses du scaphoïde

L'évolution des pseudarthroses du scaphoïde est connue depuis de nombreuses années. Il s'agit du développement progressif et inéluctable vers l'arthrose de type SNAC (Ruby et al., 1985; Vender et al., 1987). Celle-ci est liée non seulement à la mobilité dans le foyer de pseudarthrose mais aussi à la déformation du scaphoïde et sa répercussion sur la cohérence spatiale du carpe. L'arthrose SNAC est marquée par des remaniements touchant la styloïde radiale, l'articulation scapho-capitale, et l'articulation capito-lunaire. L'articulation radio-lunaire est classiquement épargnée par ces changements dégénératifs (Figure 3).

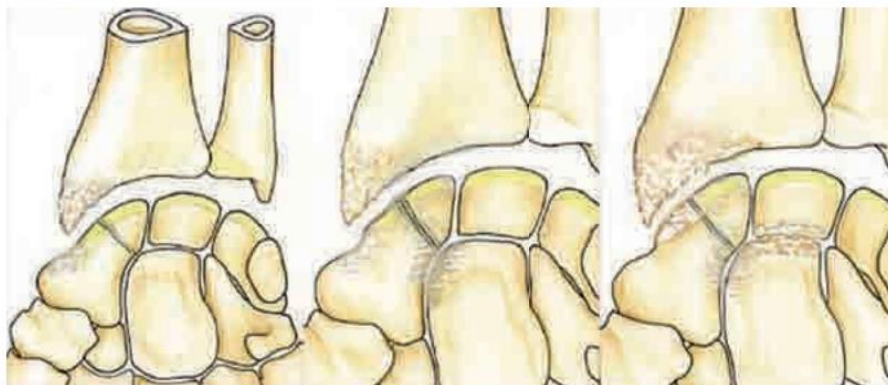


Figure 3 : Illustration de l'évolution de l'arthrose SNAC selon Cooney (1990) en 3 stades. Stade I : Arthrose styloïdo-scaphoïdienne, Stade II : Stade I + arthrose scapho-capitale, Stade III: Stade II + arthrose capito-lunaire.

Buijze et al. (2012) décrivent deux types de déformation du scaphoïde en fonction de la localisation du trait de fracture initial et du défaut osseux. Selon Belsole et al. (1991), la perte osseuse du scaphoïde varierait entre 5 à 15% de son volume osseux total.

La déformation avec déplacement palmaire est généralement observée dans les fractures distales du scaphoïde alors qu'un déplacement dorsal, plus rare, est retrouvé pour les fractures proximales dont le défaut osseux est moindre (Figure 4).

Dans sa forme classique à déplacement palmaire, sous l'effet de la résorption osseuse antérieure et de l'action du plan ligamentaire palmaire du carpe avec notamment le ligament radio-scapho-capital, le scaphoïde a tendance à se plier et se raccourcir (Fisk, 1970). Le pôle proximal du scaphoïde emportant le lunatum par l'intermédiaire du ligament interosseux scapho-lunaire, bascule en extension, la partie distale du scaphoïde se positionnant en flexion. Le scaphoïde prend alors un aspect « bossu » ou « humpback deformity ». Il en résulte un conflit entre le radius et le pôle distal du scaphoïde source d'arthrose radio-carpienne. La déformation en Dorsal Intercalated Segment Instability – DISI du lunatum est le point de départ de la désaxation intracarpienne source de collapsus et de dégénérescence arthrosique médio-carpienne. Cette perte de hauteur du carpe et l'installation progressive de l'arthrose SNAC sont responsables d'une diminution des mobilités et de la force du poignet. La modification de la congruence harmonieuse des surfaces articulaires en contact explique les douleurs articulaires de poignet.

Dans sa forme moins fréquente à déplacement dorsal, le retentissement intracarpien est moins marqué. Il existe un conflit entre la berge postérieure du radius et le pôle distal du scaphoïde d'une part, et d'autre part entre le pôle proximal du scaphoïde et le capitatum.

On comprend dès lors que l'objectif de tout traitement conservateur du scaphoïde sera, outre la consolidation du foyer de pseudarthrose, la correction de la déformation du scaphoïde en le dépliant et en l'allongeant afin de retrouver la cohérence spatiale du carpe. La disparition du DISI adaptatif sera le témoin de la qualité de cette correction.

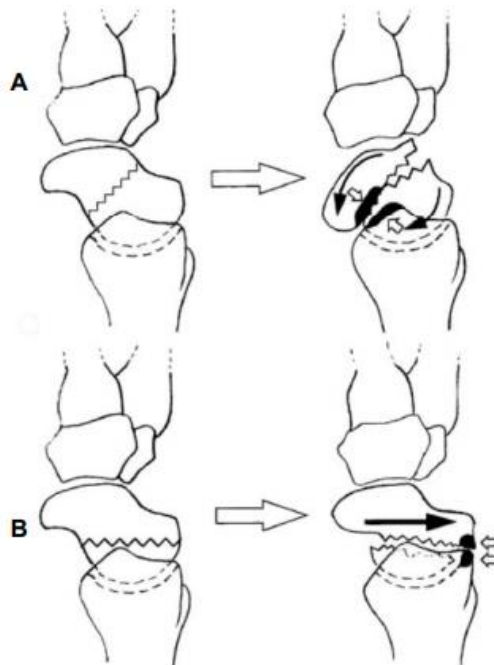


Figure 4 : Mode de déplacement des pseudarthroses du scaphoïde :

- A) Déplacement palmaire : DISI, humpback deformity, conflit entre le radius et le pôle distal du scaphoïde
- B) Déplacement dorsal : conflit entre la berge postérieure du radius et le pôle distal du scaphoïde

4. Bilan diagnostique et pronostic des pseudarthroses du scaphoïde

4.1 Bilan d'imagerie

La confirmation diagnostic d'une pseudarthrose de scaphoïde est possible à partir de simples clichés radiographies standards de face et de profil. Des incidences spécifiques scaphoïdiennes dites de Schneck I et II permettent d'orienter le rayon perpendiculairement au grand axe du scaphoïde et de le visualiser ainsi sur toute sa hauteur. Cette imagerie de première intention permettra à elle seule, de localiser la zone de la pseudarthrose, de visualiser la présence d'une désaxation intracarpienne et d'un éventuel collapsus du carpe (Figure 5). Une hyper densité du pôle proximal et/ou un contour modifié pourra faire suspecter un défaut de vascularisation de ce dernier (Buijze et al., 2012; Ciprian et al., 2004; Lozano-Calderón et al., 2006; Smith et al., 2009).

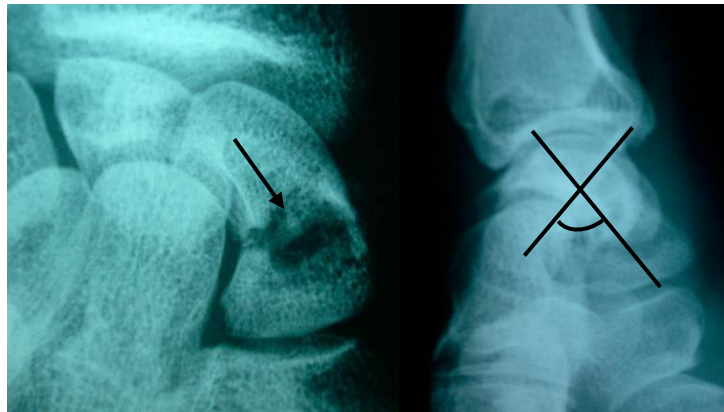


Figure 5 : Illustrations radiographiques de face et de profil d'une pseudarthrose du scaphoïde (flèche) avec DISI (angle scapho-lunaire à 80°).

Lors d'une déformation en DISI, le lunatum bascule en arrière et l'angle scapho-lunaire est augmenté (Amadio et al., 1989). Sa norme est entre 30 et 60°, au-delà de 70° degrés on peut affirmer l'existence d'une bascule en DISI.

L'angle radio lunaire normal est aux alentours de 10°, une mesure supérieure à 15° traduit une bascule en DISI du lunatum.

L'angle intrascaphoïdien latéral est normalement inférieur à 35°, une déformation avec plicature du scaphoïde va entraîner une augmentation de cet angle (Figure 6).

L'indice de Youm et Mc Murthry (Youm et al., 1978) (Figure 7) mesure l'index de hauteur carpienne par le rapport b (hauteur du carpe) sur a (longueur du 3^{ème} métacarpien). En cas de collapsus carpien, cette mesure est diminuée. La norme est comprise entre 0,51 et 0,57.

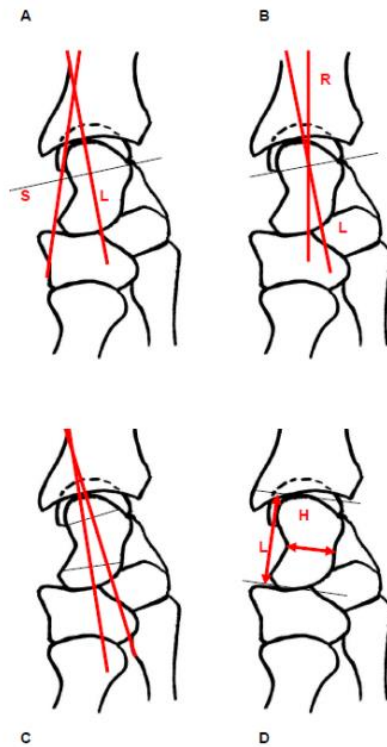


Figure 6 : Angle scapho-lunaire, radio-lunaire, intrascaphoïdien et hauteur du scaphoïde

a) Angle scapho-lunaire : angle entre l'axe du scaphoïde et l'axe du lunatum

b) Angle radio-lunaire : angle entre l'axe du radius et l'axe du lunatum

c) Angle intrascaphoïdien latéral : angle entre la perpendiculaire de la surface articulaire du pôle proximal et du pôle distal

d) Rapport hauteur sur longueur du scaphoïde

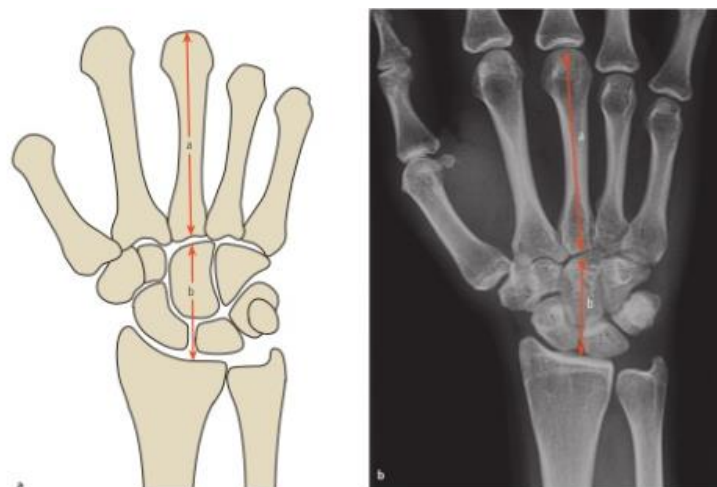


Figure 7 : Index de hauteur carpienne de Youm : $b/a : 0,51-0,57$

L'arthroscanner représente le complément d'imagerie indispensable afin de stadifier la pseudarthrose et pouvoir orienter précisément sa prise en charge chirurgicale. Il sera ainsi possible d'évaluer l'importance de la déformation et de la résorption osseuse du scaphoïde, du retentissement intracarpien ainsi que la présence d'une dégénérescence arthrosique (Figure 8). La mesure précise du gap inter-fragmentaire renseignera sur le caractère plus ou moins stable de la pseudarthrose (Bush et al., 1987; Pao et Chang, 2003; Sanders, 1988). Des lésions ligamentaires intrinsèques devront être systématiquement recherchées pour être traitées dans le même temps.

Lozano-Calderon et al. (2006) ont montré que le scanner devait impérativement compléter le bilan radiographique pour l'évaluation du déplacement fracturaire. Le bilan radiographique seul avait une sensibilité de 75%, 72% pour le scanner seul, 80% pour les deux combinés, et la spécificité était de 64%, 80% et 73% respectivement. Ils recommandaient une évaluation scannographique systématique pour toutes les fractures.

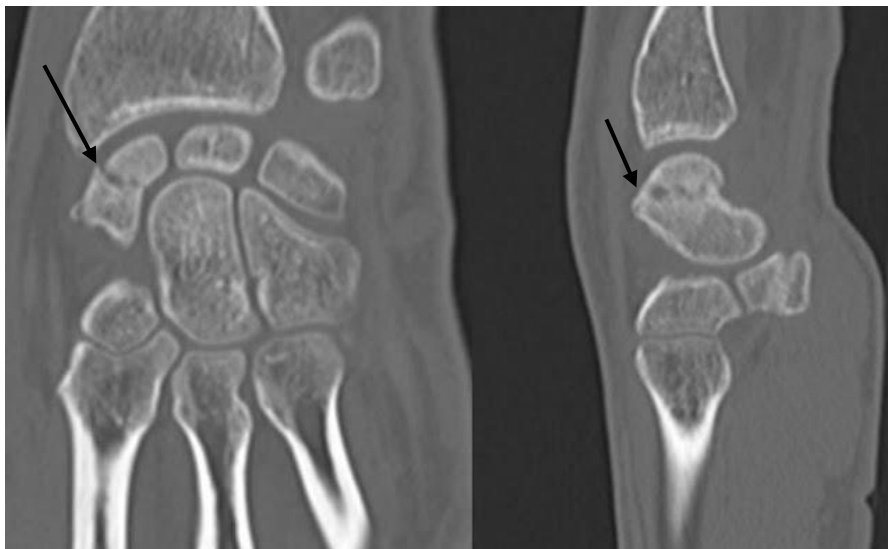


Figure 8 : Illustrations scannographiques sur coupes frontale et sagittale, montrant une résorption osseuse modérée et une plicature du scaphoïde (humpback deformity) (flèches).

De nombreux auteurs précisent l'intérêt d'une IRM afin d'évaluer l'état vasculaire du fragment proximal notamment en cas de localisation polaire proximale du foyer de pseudarthrose ou encore de signes radio-scannographiques faisant fortement suspecter un défaut de vascularisation et une éventuelle AVN (Kim et al., 2018). Smith et al. (2009) ont montré que l'augmentation de la radiodensité du pôle proximal au scanner était significativement corrélée au diagnostic histologique d'AVN avec une sensibilité de 60% et une spécificité de 100%.

La performance diagnostic de l'IRM dans l'évaluation de la vascularisation du pôle proximal du scaphoïde est très variable d'une étude à l'autre et selon le type de séquence.

Il semble que seules les séquences T1 fat sat avec injection de Gadolinium (qui améliore la sensibilité et la spécificité) soient fiables pour évaluer la vascularisation avec une sensibilité de

66% et une spécificité de 88% versus 36% et 78% en l'absence d'injection (Cerezal et al., 2000; Ng et al., 2013; Schmitt et al., 2011). Paradoxalement, Fox et al. (2010) et Donati et al. (2011) ont montré que l'injection n'était pas indispensable avec une sensibilité de 54% et une spécificité de 93% pour le diagnostic d'AVN.

Toutefois, plusieurs auteurs ont remis en question la valeur de l'IRM dans le diagnostic d'AVN. En effet, si l'IRM permet de mettre en évidence un défaut de vascularisation du pôle proximal, il ne peut apporter la certitude d'une authentique AVN. Ciprian et al. (2004) ont montré que l'absence de rehaussement du fragment proximal était un facteur péjoratif modéré pour l'obtention de la consolidation devant orienter vers la mise en place d'un greffon vascularisé.

Singh et al. (2004) et Megerle et al. (2011), ont montré qu'il n'existait pas de corrélation systématique entre l'évaluation de la vascularisation préopératoire à l'IRM et le taux de consolidation de la pseudarthrose. Selon ces auteurs, l'existence d'un saignement peropératoire au niveau du fragment proximal serait présent malgré les constatations en IRM.

Rancy et al. (2018) allaient dans le même sens et précisait que l'AVN du pôle proximal du scaphoïde était finalement rare. Les auteurs recommandent l'évaluation peropératoire systématique du saignement du fragment proximal en cas de signes évocateurs à l'IRM (Green, 1985)

L'absence de rehaussement du fragment proximal à l'IRM avec injection de Gadolinium ne peut que suspecter une AVN, le diagnostic se faisant par la combinaison de cette absence de rehaussement, l'absence de saignement peropératoire et éventuellement confirmation histologique (Rancy et al., 2018; Trumble, 1990) (Figure 9). Dans leur étude, Kim et al. (2018) ont inclus leurs patients avec AVN selon ces critères.

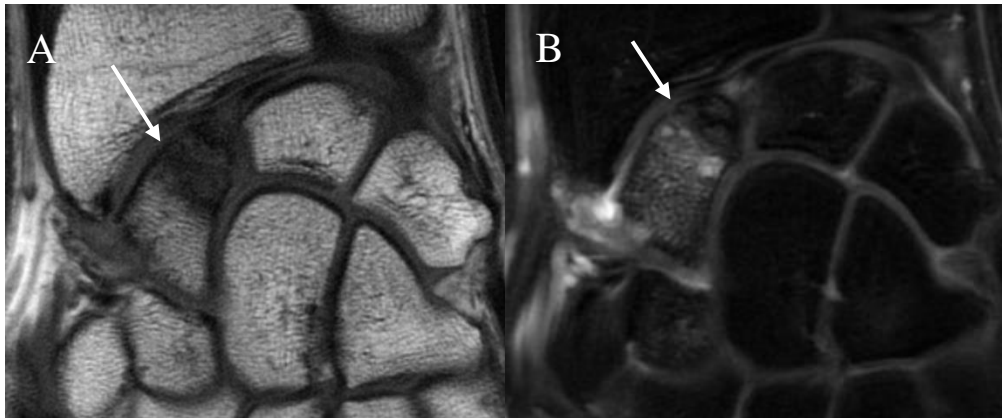


Figure 9 : Coupes frontales IRM en séquence T1 sans injection (A) montrant un hyposignal du fragment proximal (flèche), et en séquence T1 fat sat avec injection de Gadolinium (B) montrant une absence de rehaussement du pôle proximal et donc une suspicion d'AVN.

4.2 Classifications des fractures du scaphoïde

Sur la base de la localisation du trait de fracture initial, Schernberg proposa en 1984 une classification en six types. Les fractures de type I correspondent aux fractures du pôle proximal, les types II et III aux fractures corporeales hautes et basses, les IV sont trans-tubérositaires, les types V représentent les fractures du pied et les types VI celles du tubercule distal divisées en 3 sous types a, b, c. Cette classification est la plus couramment utilisée en France pour décrire les fractures du scaphoïde (Figure 10 A).

Wong et Ho (2011) simplifient cette classification en distinguant les fractures du pôle proximal, du corps et du pôle distal du scaphoïde ; les fractures du corps étant divisées en tiers proximal, tiers moyen et tiers distal (Figure 10 B). Dans la littérature non francophone les fractures sont le plus souvent classées suivant ce modèle.

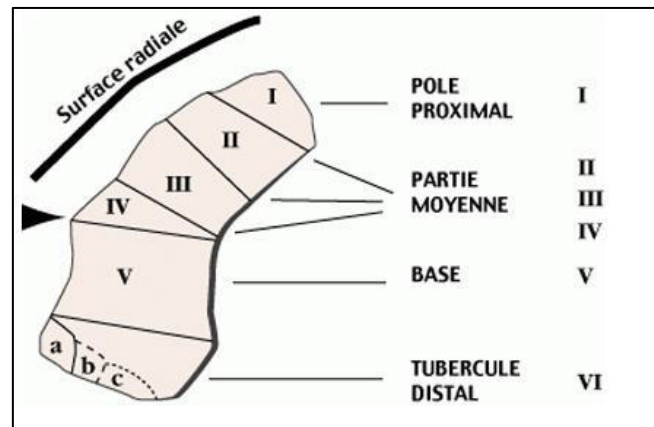
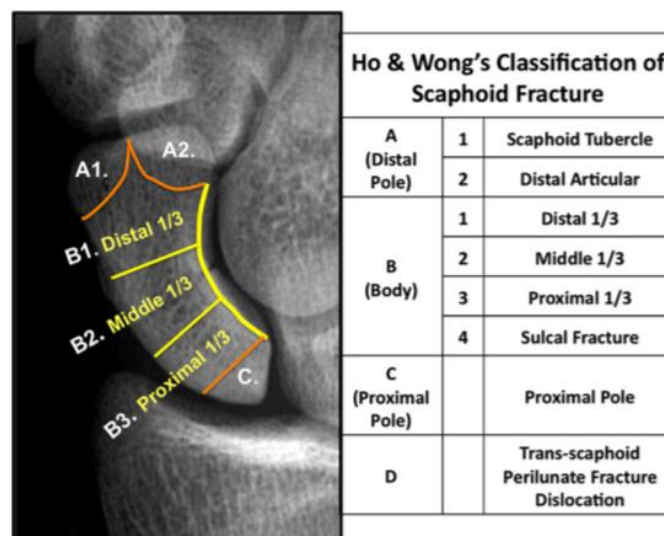


Figure 10 A : Classification de Schernberg.

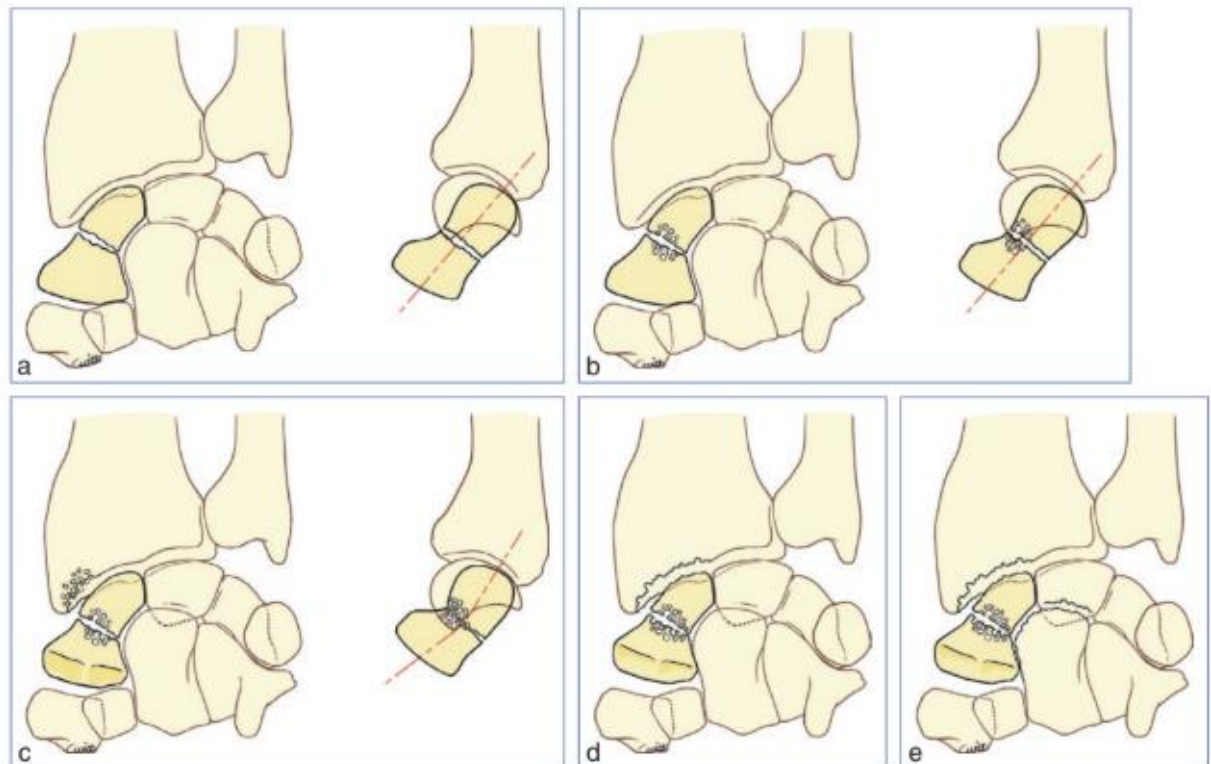


Eight scaphoid fracture types in Ho and Wong's classification of scaphoid fracture.

Figure 10 B : Classification de Wong et Ho.

4.3 Classifications des pseudarthroses du scaphoïde

Sur la base de l'analyse radiographique, Alnot proposa en 1988 une classification des pseudarthroses du scaphoïde en 3 stades selon la déformation du scaphoïde, le retentissement intracarpien et le stade d'arthrose SNAC (Figure 11).



Classification d'Alnot pour l'arthrose SNAC de poignet, conséquence de la pseudarthrose du scaphoïde.

- a. Stade 1 : forme du scaphoïde respectée, carpe stable : pseudarthrose récente.
- b. Stade 2A : géodes de résorption antérieure, modification légère de forme, sans instabilité du carpe.
- c. Stade 2B : plicature marquée avec DISI éventuellement associée à une arthrose stylo-scaphoïdienne (effilement styloïdien).
- d. Stade 3A : plicature avec DISI et arthrose radioscaphoïdienne étendue.
- e. Stade 3B : plicature avec DISI et arthrose médiocarpienne.

Figure 11 : Classification d'Alnot.

Les stades 1 et 2A correspondent à une pseudarthrose stable sans ou avec résorption osseuse minimale tandis que les stades 2B et plus correspondent à une pseudarthrose instable avec déformation scaphoïdienne et désaxation intracarpienne.

Il a été ajouté un stade 4 pour les AVN du pôle proximal, associé à une désaxation intracarpienne dans le stade 4 A et à une arthrose radio-scaphoïdienne et médio-carpienne dans le stade 4 B.

Cependant, cette classification a ses limites et ne permet pas de classifier précisément toutes les pseudarthroses. Les pseudarthroses du pôle proximal et les lésions ligamentaires associées n'ont pas leur place dans la classification d'Alnot, et certaines fractures déplacées engendrent un DISI avant l'apparition de résorption osseuse.

Plus récemment, Slade et Dodds (2006) ont décrit une classification plus adaptée aux pseudarthroses du scaphoïde séparée en 6 stades selon le degré de résorption osseuse. Les auteurs ajoutent des sous-types distinguant les pseudarthroses du pôle proximal, les AVN du pôle proximal diagnostiquées à l'IRM ou en peropératoire, les lésions ligamentaires associées, et la déformation intrascaphoïdienne (Tableau 1).

Cette classification présente des implications chirurgicales. Les auteurs suggèrent pour les retards de consolidation, les pseudarthroses sans résorption osseuse ou avec résorption minimale (grade I, II et III) un simple vissage en compression sans ajout de greffe osseuse. En cas de résorption osseuse (grade IV et V) sans déformation majeure du scaphoïde, la greffe spongieuse est préconisée. Lorsque la résorption est majeure (grade VI), un greffon cortico-spongieux est indiqué.

Tableau 1 : Classification de Slade et Dodds

Grade	Category	Characteristics of Scaphoid Nonunions
I	Delayed presentation	Scaphoid fractures with delayed presentation (4–8 weeks).
II	Fibrous nonunion	Intact cartilaginous envelope, minimal fracture line at nonunion interface, no cyst or sclerosis.
III	Minimal sclerosis	Bone resorption at nonunion interface < 1 mm with minimal sclerosis.
IV	Cyst formation and sclerosis	Bone resorption at nonunion interface < 5 mm, cyst formation, and maintained scaphoid alignment.
V	Cyst formation and sclerosis	Bone resorption at nonunion interface > 5 mm and < 10 mm, cyst formation, and maintained scaphoid alignment.
VI	Pseudarthrosis	Separate bone fracture fragments with profound bone resorption at nonunion interface. Gross fragment motion and deformity is often present.
Subtypes	Category	Associated Characteristics
a	Proximal pole nonunion	The proximal pole has a tenuous blood supply and a mechanical disadvantage that places it at greater risk of delayed or failed union.
b	Avascular necrosis	Scaphoid nonunion with avascular necrosis confirmed by MRI or intraoperative lack of punctate bleeding. The fracture must heal and revitalize.
c	Ligamentous injury	Injury suggested by static and dynamic imaging of the carpal bones or arthroscopic, direct observation.
d	Deformity	Scaphoid deformity must be corrected. This requires a bicortical structural bone graft and rigid fixation.

MRI = Magnetic resonance imaging

5. Historique et techniques chirurgicales conventionnelles

Divers traitements et types de greffes ont été décrits, allant du vissage percutané simple sans greffe osseuse aux greffes osseuses non vascularisées et vascularisées (libres ou pédiculées), ces dernières étant principalement utilisées pour les pseudarthroses à risque d'échec comme les pôles proximaux ou les AVN.

5.1 Vissage percutané sans greffe osseuse

Le vissage percutané sans greffe osseuse est décrit depuis longtemps pour traiter les pseudarthroses de scaphoïde de stade 1 et parfois 2A d'Alnot ou I, II et III de la classification de Slade et Dodds. Une des premières études sur cette technique a été publiée en 1986 par Cosio et Camp, suivie par de nombreux auteurs décrivant eux aussi de bons résultats à condition de réserver cette technique pour les pseudarthroses stables sans ou avec résorption osseuse minimale, sans humpback deformity ni AVN du pôle proximal (Somerson et al., 2015; Taleb et al., 2015; Yeo et Kim, 2018). Mahmoud et Koptan (2011) ont cependant rapporté que cette technique pouvait être utilisée pour les résorptions osseuses plus avancées en l'absence de déplacement fracturaire.

5.2 Greffes osseuses non vascularisées

La prise en charge des pseudarthroses du scaphoïde a connu son essor au XX^{ème} siècle. Le principe de la greffe osseuse est attribué à Adams en 1928 qui proposa pour le traitement des pseudarthroses du scaphoïde une greffe osseuse prélevée sur le tibia.

En 1936, Matti a proposé la mise en place de copeaux d'os spongieux prélevé dans le grand trochanter pour combler la cavité résiduelle après excision du tissu de pseudarthrose, par une voie d'abord dorsale. Cette technique a été modifiée par Russe en 1960 qui proposa une voie d'abord palmaire afin de préserver la vascularisation dorsale du scaphoïde. Cette technique de Matti-Russe décrit, par voie palmaire, une excavation du foyer de pseudarthrose et comblement par un greffon cortico-spongieux de forme rectangulaire d'origine iliaque, encastré et auto-stable dans le scaphoïde préalablement évidé (Figure 7). Cependant, cette technique ne permet pas de corriger une éventuelle déformation du scaphoïde.

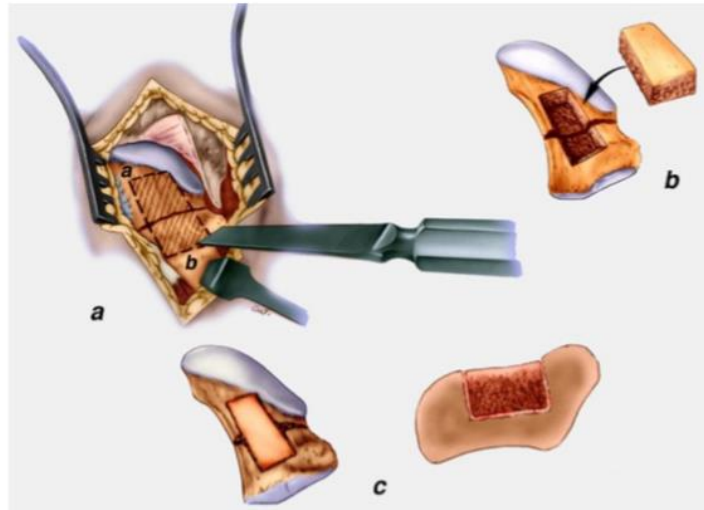


Figure 7 : Intervention de Matti-Russe. A : réalisation d'une logette dans le scaphoïde b : prélèvement d'un greffon cortico-spongieux iliaque c : mise en place du greffon intercalé auto stable dans le scaphoïde.

En 1970, Fisk 1970, accordant une importance particulière à la restauration de la hauteur du scaphoïde, proposa l'utilisation d'une greffe intercalée cortico-spongieuse à grosse tubérosité antérieure. Initialement, l'auteur utilisait une voie d'abord latérale avec réalisation d'une styloïdectomie radiale.

Cette technique a été modifiée par Fernandez en 1984 qui préconisa une voie d'abord antérieure avec prélèvement d'un greffon iliaque de forme triangulaire ou trapézoïdale et une stabilisation par brochage scaphoïdien. La crête iliaque a l'avantage d'apporter un greffon tricortical permettant une bonne restauration de la hauteur du scaphoïde.

La correction de la hauteur du scaphoïde et du DISI passait par l'artifice de Linscheid, c'est-à-dire un brochage radio-lunaire temporaire après mise en flexion forcée du poignet, permettant ainsi de déplier le scaphoïde lors du repositionnement neutre du poignet (Figure 8).

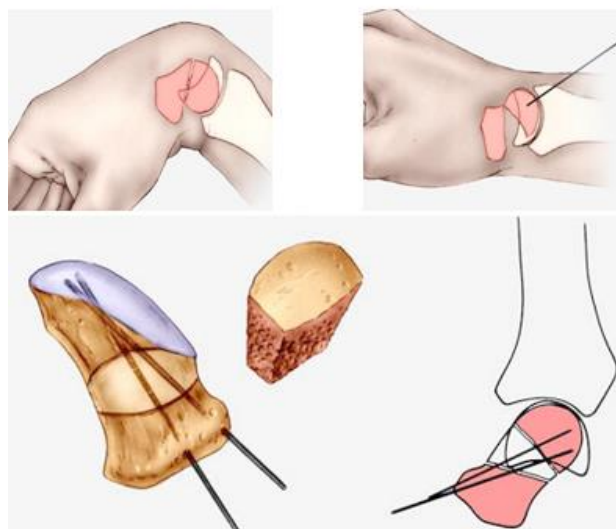


Figure 8 : Technique de Fisk-Fernandez, greffon iliaque non vascularisé, abord palmaire, ostéosynthèse par broches.

5.3 Greffes osseuses vascularisées

Les greffes vascularisées procurent un os viable et créent un potentiel ostéogénique favorisant la consolidation, d'où leur utilisation spécifique pour les pseudarthroses du pôle proximal avec AVN ou échec d'une première chirurgie.

De nombreuses techniques de greffes osseuses vascularisées ont été rapportées dans la littérature. Les transferts osseux vascularisés pédiculés sont les plus employés. Ils sont basés sur des branches accessoires des artères carpiennes dorsales et palmaires (Sheetz et al., 1995).

Ce sont Judet et al. (1972) qui suggèrent en premier l'utilisation d'une greffe osseuse vascularisée prélevée à la face antérieure du radius et vascularisée par l'artère transverse antérieure du carpe. La technique chirurgicale a été décrite par Kuhlmann en 1987 (Figure 9). Zaidenberg a décrit en 1991 une greffe vascularisée dorsale pédiculée sur l'artère supra-rétinaculaire du 1^{er} et 2^{ème} compartiment des extenseurs (Figure 10). Ces deux techniques sont les plus utilisées.

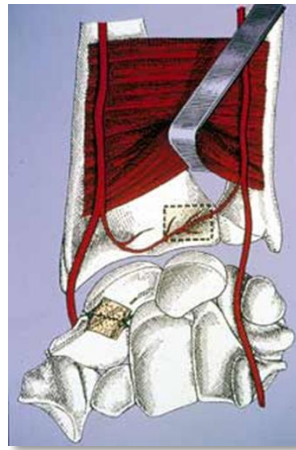


Figure 9 : Greffon vascularisé de Kuhlmann (pédicule radial palmaire)

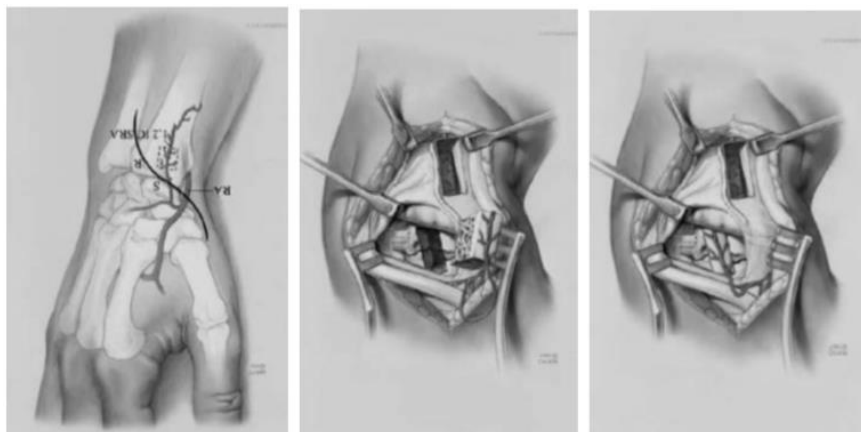


Figure 10 : Greffon vascularisé de Zaidenberg (pédicule radial dorsal)

Ces greffes étaient initialement réservées aux échecs des procédures chirurgicales classiques mais Gras et Mathoulin (2011) ont suggéré leur utilisation en première intention afin d'augmenter le taux de consolidation des pseudarthroses classiquement traitées par greffe non vascularisée, allant jusqu'à 50% d'échecs pour les pôles proximaux (Merrell et al., 2002). En utilisant la technique de Kuhlmann et en excluant les AVN dans leur étude, ils ont conclu que la greffe vascularisée pouvait être une bonne alternative aux greffes non vascularisées en première intention (rapidité de consolidation et taux de consolidation excellents).

Un des inconvénients de la greffe vascularisée du radius distal est l'insuffisance de sa structure osseuse pour restaurer la hauteur scaphoïdienne (Chang et al., 2006; Yeo et Kim, 2018). Des techniques de greffons libres vascularisés ont été décrites comme la greffe vascularisée de crête iliaque (Pechlaner et al., 1987) ou la greffe de condyle fémoral interne (Doi et al., 2000), permettant un meilleur apport structural. Cependant la durée d'intervention et l'exigence technique requise en font une méthode peu utilisée.

Si le degré de déformation du scaphoïde peut être corrigé avec une greffe de radius distal, la morbidité du site donneur doit être prise en considération avant de choisir quelle technique utiliser.

5.4 Résultats des techniques conventionnelles

5.4.1 Taux et délai de consolidation osseuse

Dans la littérature, on retrouve trois principales méta-analyses.

Munk et Larsen (2004) rapportaient, sur 5246 cas, 80% de consolidation pour les greffes non vascularisées sans ostéosynthèse, 84% pour les greffes non vascularisées avec ostéosynthèse, et 91% pour les greffes vascularisées de tous types (libres et pédiculées). Le délai moyen de consolidation était de 15 semaines pour les greffes non vascularisées sans ostéosynthèse contre 7 semaines avec ostéosynthèse, et 10 semaines pour les greffes vascularisées.

Pinder et al. (2015) rapportaient, sur 1602 patients, 92% de consolidation pour les greffes vascularisées de tous types (libres et pédiculées), 88% pour les greffes non vascularisées. Les greffes radiales et iliaques avaient des résultats similaires avec 89% et 87% de consolidation respectivement, mais ils retrouvaient plus de complications avec les crêtes iliaques. Selon les auteurs, il existait une meilleure consolidation avec une ostéosynthèse par broches ou vis (91% et 88%) que sans (79%). Le délai moyen de consolidation était quasi identique, de 13,8 semaines pour les greffes vascularisées contre 13,6 semaines pour les greffes non vascularisées.

Ferguson et al. (2016) rapportaient, sur 5464 patients, un taux de consolidation de 84% pour les greffes vascularisées de tous types (libres et pédiculées) et 80% pour les greffes non vascularisées.

Au total, le taux de consolidation moyen est compris entre 80 et 88% pour les greffes non vascularisées, avec un délai moyen de consolidation compris entre 7 et 15 semaines, et entre 84 et 92% pour les greffes vascularisées avec un délai moyen de consolidation compris entre 10 et 13,8 semaines.

5.4.2 Résultats cliniques et fonctionnels

Les mobilités ne sont pas décrites dans les plus grosses méta-analyses traitant des prises en charge des pseudarthroses du scaphoïde. Néanmoins, les résultats sont très variables d'un auteur à l'autre. Certains décrivent une amélioration des mobilités par rapport à la période préopératoire, d'autres une diminution des mobilités ou encore une conservation de celles-ci. Braga-Silva et al. (2008) ont comparé 80 patients ayant bénéficié d'un greffon radial vascularisé ou d'une greffe iliaque non vascularisée, et ont retrouvé une différence significative uniquement sur l'inclinaison radiale qui était moins diminuée dans le groupe greffe vascularisée par rapport au côté controlatéral. Dans le groupe greffe vascularisée, l'arc de flexion-extension était en moyenne de 104°, l'arc d'inclinaison radio-ulnaire était de 30°, la force de serrage de 28kg, et dans le groupe greffe non vascularisée ces valeurs étaient respectivement de 97°, 26° et 27kg. Les amplitudes ne sont en général pas ou peu altérées en cas de pseudarthrose du scaphoïde et l'objectif est de les conserver au maximum.

5.4.3 Cas des pôles proximaux et des nécroses avasculaires

Peu d'études s'intéressent exclusivement aux pseudarthroses du pôle proximal. Pour Munk et Larsen (2004), la consolidation semble plus difficile à obtenir avec un taux de 78% et un délai moyen de 9 semaines en utilisant des greffes non vascularisées. Pinder et al. (2015) retrouvaient d'excellents taux de consolidation : 97% avec un délai de consolidation de 11,9 semaines pour les greffes vascularisées versus 93% et 17,7 semaines pour les non vascularisées.

La consolidation en cas d'AVN du pôle proximal reste un sujet controversé, avec peu de données dans la littérature. En effet, 86% des séries rapportant les résultats des greffes vascularisées incluaient des cas d'AVN contre 40% des séries rapportant les résultats des greffes non vascularisées. Peu de séries traitent exclusivement des cas d'AVN et la majorité ont été traitées par greffon vascularisé (Pinder et al., 2015).

Toutefois, le biais majeur de ces études réside dans la confirmation de l'AVN : défaut de signal en IRM, absence de saignement en peropératoire et confirmation histologique (Rancy et al., 2018).

Ferguson et al. (2016) rapportaient que sur les 144 articles retrouvés avec des cas d'AVN, seuls 40 auteurs décrivaient la méthode diagnostique de l'AVN et seuls 12 ont effectué une IRM dont 6 sans injection. Incluant ce biais majeur, ils retrouvaient pour les AVN du pôle proximal un taux de consolidation de 74% pour les greffes vascularisées de tous types versus 62% pour les greffes non vascularisées de tous types.

Kim et al. (2018) ont traité 24 patients avec AVN diagnostiquée à l'IRM et en peropératoire par greffon iliaque non vascularisé et ont obtenu 91,7% de consolidation avec une immobilisation de 12 semaines. Selon le même protocole, Stark (1988) a obtenu 97% de consolidation en 17 semaines.

Chang et al. (2006) ont traité 50 pseudarthroses du scaphoïde par greffon radial vascularisé dorsal et ont obtenu 50% de consolidation en cas d'AVN (24 cas) avec un délai de consolidation de 18 semaines (contre 91% de consolidation et 14 semaines pour les autres cas sans AVN).

Les auteurs se fondaient sur l'évaluation peropératoire pour le diagnostic (seuls 7 patients ont bénéficié d'une IRM).

Rancy et al. (2018) ont montré, sur 35 pseudarthroses de scaphoïde traitées par greffon non vascularisé radial ou iliaque (94% de consolidation), qu'il n'y avait aucune corrélation entre l'IRM préopératoire, l'évaluation du saignement peropératoire et l'analyse histologique. Ils ont conclu que les AVN du pôle proximal étaient rares, que le saignement peropératoire n'était pas un indicateur fiable de vascularisation ni de consolidation, et que les greffes vascularisées étaient par conséquent rarement requises.

Les AVN pourraient donc être sur-diagnostiquées, ce qui rend très difficile l'interprétation des résultats dans la littérature. Il n'existe aucune étude randomisée de haut effectif comparant les greffes vascularisées aux non vascularisées pour les seuls cas d'AVN suspectés à l'IRM et confirmés en peropératoire.

5.4.4 Complications et reprises chirurgicales

Les complications sont peu rapportées dans la littérature. Pinder et al. (2015) retrouvaient 9% de complications pour les prélèvements de crête iliaque non vascularisée, avec douleurs du site donneur (4%), hématome du site donneur (2%), infection (2%) et fracture du greffon (1%). Ils rapportaient 4 cas de complications sur 405 patients pour les greffes radiales avec 3 infections superficielles du site opératoire et un cas de fracture du radius.

Concernant les greffes vascularisées de tous types, Alluri et al. (2017) rapportaient dans leur méta-analyse moins de 5% de complications telles que les infections superficielles (1,56%), les douleurs neuropathiques (1,56%) et le syndrome douloureux régional complexe (1,25%).

Le taux d'échec varie de 8 à 20% toute chirurgie confondue. L'échec de consolidation est une conséquence grave pour le poignet, il augmente la probabilité d'évolution arthrosique, réduit le stock osseux et la qualité osseuse compromettant les résultats d'une seconde chirurgie. Cependant, une 2^{ème} ou 3^{ème} intervention peut améliorer la douleur sur le long terme (Reigstad et al., 2009). S'il n'y a pas ou peu d'évolution arthrosique, la reprise chirurgicale avec nouvelle greffe osseuse est indiquée, certains auteurs recommandant alors une greffe vascularisée (Yeo et Kim, 2018).

Ross et al. (2020) rapportaient un taux de reprise chirurgicale de 6,1% chez 3819 patients ayant bénéficié d'une greffe non vascularisée et 5% chez 358 patients ayant bénéficié d'une greffe vascularisée (4,8% pour les greffes pédiculées et 6,8% pour les greffes libres). Parmi ces reprises, il y avait 83% de cures de pseudarthroses classiques avec ou sans greffe vascularisée, 9% d'arthrodèse et 6% de résection de première rangée.

Bynum et al. (1995) ont montré (sur 18 patients ayant bénéficié d'une reprise chirurgicale de type greffe non vascularisée) que l'arthrose SNAC évoluait d'un stade dans 33% des cas 6 ans plus tard.

En présence d'arthrose radiocarpienne et/ou intracarpienne, le traitement ne peut être conservateur et il s'orientera alors vers une solution palliative de type arthrodèse des 4 os, résection de première rangée ou implant pyrocarbone selon les écoles.

6. Apport de l'arthroscopie dans le traitement chirurgical

Au cours de ces dix dernières années, de nombreux auteurs se sont intéressés à l'utilisation de l'arthroscopie pour les cures de pseudarthrose avec greffe osseuse spongieuse comme alternative aux techniques conventionnelles

Wong et Ho en 2011 publièrent la technique princeps et rapportèrent les premiers résultats d'une série de 68 patients au recul moyen de 39,5 mois. Le taux de consolidation était de 91,2% avec un délai moyen de 3 mois. Le greffon spongieux utilisé provenait du radius homolatéral.

D'autres auteurs ont par la suite rapporté leurs résultats en précisant le site donneur de la greffe et le moyen d'ostéosynthèse. Kim et al. ont publié en 2015 leurs résultats chez 36 patients avec utilisation d'un greffon radial et ont obtenu un taux de consolidation de 86%. En France, Cognet et al. (2016) ont publié leurs résultats préliminaires à propos de 23 cas avec greffe spongieuse iliaque et ont obtenu 100% de consolidation. La plus grosse étude à l'heure actuelle est celle de Wong et Ho (2019) avec 125 patients, 90,3% de consolidation et utilisation de greffe spongieuse iliaque.

Pour la majorité des auteurs, la technique arthroscopique est accessible pour les tiers proximaux du scaphoïde, en particulier les types I, II et III de Schernberg. Pour les types III, plusieurs auteurs ont proposé l'utilisation d'une voie accessoire médio-carpienne située entre la voie médio-carpienne radiale (MCR) classique et la voie scapho-trapézo-trapézoïdienne (STT) afin d'accéder directement au foyer de pseudarthrose (Cognet et al., 2016 ; Kim et al., 2015 ; Lee et al., 2018)

Pour les stades précoces de pseudarthroses sans résorption osseuse accessibles à un traitement par vissage percutané simple, certains auteurs ont utilisé la même technique mais avec assistance arthroscopique afin de confirmer la stabilité de la pseudarthrose et l'indication de vissage percutané sans greffe (Liu et al., 2019; Slade et al., 2003).

Dans tous les cas, l'objectif principal de ces techniques est d'obtenir une consolidation avec une morbidité minimale. Les principes restent semblables quelle que soit la technique à savoir : exciser la fibrose du foyer de pseudarthrose, rétablir une bonne hauteur scaphoïdienne en réduisant la plicature, réduire une éventuelle désaxation carpienne et aviver le foyer de pseudarthrose afin de générer des facteurs de croissance pour permettre la consolidation.

La technique arthroscopique est moins agressive qu'une chirurgie à ciel ouvert, elle permet de préserver la vascularisation du scaphoïde et les structures capsulo-ligamentaires, et de diminuer la raideur postopératoire.

DEUXIÈME PARTIE : ARTICLE SCIENTIFIQUE

Journal of Hand Surgery: European Volume
Arthroscopic bone grafting for scaphoid nonunion: a retrospective study of 42 cases
 --Manuscript Draft--

Manuscript Number:	
Full Title:	Arthroscopic bone grafting for scaphoid nonunion: a retrospective study of 42 cases
Article Type:	Full Length Article
Keywords:	Arthroscopic bone graft; Scaphoid; Nonunion; Wrist arthroscopy
Corresponding Author:	Berangere Lamon, M.D Centre Chirurgical Emile Galle NANCY, FRANCE
Corresponding Author Secondary Information:	
Corresponding Author's Institution:	Centre Chirurgical Emile Galle
Corresponding Author's Secondary Institution:	
First Author:	Berangere Lamon, M.D
First Author Secondary Information:	
Order of Authors:	Berangere Lamon, M.D Ludovic Ardouin, M.D Philippe Bellemère, M.D Gilles Dautel, M.D, Ph.D Lionel Athlani, M.D
Order of Authors Secondary Information:	
Abstract:	This retrospective study reports outcomes of arthroscopic bone grafting and K-wire fixation to treat scaphoid nonunion of the proximal and middle third without intracarpal deformity or SNAC osteoarthritis in 42 patients with a mean age of 25 years (range 15-56). The mean time from injury to surgery was 15 months (range 5-60). At the mean follow-up of 18 months (range 6-56), pain was significantly reduced from 7 to 1 on a visual analogue scale (out of 10). The scores on the Quick Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand questionnaire and Patient Rated Wrist Evaluation were improved significantly. At the last review, grip strength was 83% of the contralateral side, the average wrist flexion-extension was 125° and the radioulnar deviation was 58°. Bone union was achieved in 37 of the 42 patients (88%) with a mean time to union of 3 months (range 2-9). Four patients required revision surgery because of failed union. Based on our findings, we conclude that arthroscopic bone grafting is a reliable, effective, and minimally invasive procedure.

Grefe osseuse sous arthroscopie des pseudarthroses du scaphoïde : étude rétrospective de 42 cas

RÉSUMÉ

Dans cette étude rétrospective bicentrique, nous rapportons les résultats de 42 patients (42 poignets) opérés d'une greffe osseuse sous arthroscopie avec ostéosynthèse par broches, dans le cadre d'une pseudarthrose du tiers proximal ou moyen du scaphoïde sans désaxation intracarpienne ni arthrose SNAC. La moyenne d'âge était de 25 ans (15-56) et le délai moyen entre le traumatisme et l'intervention de 15 mois (5-60). Avec un recul moyen de 18 mois (6-56), la douleur a été significativement diminuée passant de 7 à 1 sur 10 à l'échelle visuelle analogique. Le Quick DASH et le PRWE ont été également significativement améliorés. Au dernier recul, le force de serrage était de 83% par rapport au côté controlatéral. L'arc moyen de flexion-extension et d'inclinaison radio-ulnaire étaient respectivement de 125° et 58°. La consolidation a été acquise chez 37 patients (88%) avec un délai moyen de 3 mois (2-9). Quatre patients ont dû être réopérés pour défaut de consolidation. Au vu de nos résultats, nous pouvons conclure que la greffe osseuse sous arthroscopie est un traitement fiable, efficace et peu invasif.

Niveau de preuve : IV

Mots clés : Arthroscopie, Greffe osseuse, Pseudarthrose du scaphoïde, Poignet.

INTRODUCTION

Les fractures du scaphoïde sont les fractures du carpe les plus courantes (Hove, 1999). Leur taux de pseudarthrose est d'environ 10 à 15% (Hovius et de Jong, 2015). Les facteurs de risque de pseudarthrose connus sont la localisation du trait de fracture, son déplacement, le délai de prise en charge et le défaut d'apport vasculaire du pôle proximal (Yeo and Kim, 2018). L'absence de traitement des pseudarthroses du scaphoïde entraîne une plicature de cet os (humpback deformity) et une bascule en DISI (dorsal intercalated segment instability) du lunatum. L'instabilité progressive du carpe évolue inexorablement vers un poignet arthrosique de type SNAC ou « scaphoid nonunion advanced collapse » (Berdia et Wolfe, 2001; Laulan et al., 2015). L'objectif du traitement chirurgical est d'obtenir la consolidation, rétablir la hauteur du scaphoïde et corriger la désaxation intracarpienne afin de prévenir cette évolution arthrosique à long terme. De nombreuses techniques chirurgicales impliquant une greffe osseuse vascularisée ou non ont été décrites sans qu'aucune d'entre elles n'ait réellement apporté la preuve de sa supériorité (Hovius and de Jong, 2015). Ces différents traitements conduisent généralement à une consolidation dans 80 à 92% des cas ; le pôle proximal du scaphoïde représentant la zone la plus difficile à faire consolider (Ferguson et al., 2016 ; Munk et Larsen, 2004, Pinder et al., 2015). La chirurgie à ciel ouvert a ses inconvénients : elle peut compromettre la vascularisation du scaphoïde et déstabiliser les attaches capsulo-ligamentaires périphériques ; elle est source d'une raideur postopératoire notamment dans les mouvements de flexion-extension et d'inclinaison radio-ulnaire (Yeo and Kim, 2018). La greffe osseuse sous arthroscopie est utilisée depuis environ une dizaine d'années pour le traitement des pseudarthroses de scaphoïde avec des résultats au moins aussi bons que la chirurgie à ciel ouvert en termes de consolidation. Une des premières études publiées sur le sujet est celle de Wong et Ho (2011) avec un taux de consolidation de 91%. D'autres auteurs ont également publié de bons résultats cliniques et radiologiques avec des taux généralement supérieurs à 85% (Cognet et al., 2016; Kang et al., 2016; Kim et al., 2015; Lee et al., 2018). La faible morbidité de l'approche arthroscopique semblerait diminuer la raideur postopératoire et ainsi améliorer les résultats fonctionnels notamment en ce qui concerne les mobilités. L'objectif de cette étude était de rapporter les résultats de la greffe osseuse sous arthroscopie avec ostéosynthèse par broches, au recul minimum de 6 mois.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Population

Il s'agit d'une étude rétrospective bicentrique non randomisée réalisée dans deux centres référents en chirurgie de la main et du poignet. Nous avons revu 42 patients (38 femmes et 4 hommes) d'âge moyen 25 ans (15-56), opérés par des chirurgiens seniors entre mai 2013 et avril 2019. Tous avaient bénéficié d'une greffe osseuse sous arthroscopie avec ostéosynthèse par broches dans le cadre d'un traitement d'une pseudarthrose de scaphoïde. Tous les patients avaient été adressés en consultation pour douleur chronique du poignet et/ou limitation d'amplitudes articulaires. Aucun n'avait bénéficié de chirurgie préalable. Le côté dominant était impliqué dans 27 cas (64%). Tous les patients étaient professionnellement actifs. 14 patients (33%) étaient fumeurs au moment de l'intervention. Chacun a été revu en consultation. Après obtention de leur consentement, un examinateur indépendant (chirurgien avec 5 ans d'expérience clinique) a réalisé une évaluation clinique et radiologique.

Bilan d'imagerie avant l'arthroscopie interventionnelle

Pour chaque patient, un bilan d'imagerie préthérapeutique avait été réalisé associant des radiographies standards de face et de profil strict ainsi que des incidences scaphoïdes type « Schnek », une tomodensitométrie (TDM) et une imagerie par résonance magnétique (IRM) du poignet. Le diagnostic de pseudarthrose du scaphoïde sans arthrose SNAC était confirmé chez l'ensemble des patients. Selon la classification de Schernberg (1988), il y avait 6 types I, 13 types II et 23 types III. Selon la classification de Slade et Dodds (2006) (Tableau 1), il y avait 3 pseudarthroses de grade III, 35 de grade IV et 4 de grade V. A l'IRM, un patient avec une localisation de type I présentait une suspicion de nécrose avasculaire (AVN) du pôle proximal caractérisé par un hyposignal sur les séquences T1 sans injection, hypersignal T2, et absence de rehaussement après injection de Gadolinium sur les séquences T1 (sous-type b de la classification de Slade et Dodds).

Technique chirurgicale

Les interventions ont été systématiquement réalisées par des chirurgiens seniors (spécialistes, niveau 4 selon Tang et Giddins (2016)) sous anesthésie loco-régionale avec garrot à la racine du membre supérieur.

La première étape était dédiée au prélèvement de la greffe sur le radius distal homolatéral par une incision latérale. Après repérage et protection des branches sensibles du nerf radial, nous passons entre le 1^{er} et le 2^{ème} compartiment des extenseurs afin d'exposer le périoste du radius. Puis, nous réalisons une ostéotomie unicorticale à la scie oscillante de 1cm² sur trois côtés afin d'exposer et prélever la greffe osseuse spongieuse. Le volume de cette dernière devait être d'environ trois fois supérieur à celui du défaut osseux estimé au niveau du foyer de pseudarthrose en vue d'une compaction de la greffe osseuse. A la fin de cette étape, le volet cortical était repositionné et la peau suturée au fil non résorbable (Figure 1A).

La deuxième étape consistait en la réalisation de l'arthroscopie. La distraction du poignet à la verticale (environ 5 à 8 kg) était assurée par une tour de traction dédiée et utilisation de doigtiers japonais. Les instruments utilisés étaient un arthroscope de 2.4 mm à angulation 30° (Arthrex®, Naples, Florida, United States) ou de 2.5 mm à angulation 30° (Richard Wolf GmbH, Knittlingen, Germany), un shaver de 2.9 mm, une fraise de 3.0 mm (Arthrex®, Naples, Florida, United States), une curette et un crochet palpeur. Nous utilisons également une canule de 3.0 mm pour introduire la greffe spongieuse dans le foyer de pseudarthrose. L'irrigation était continue sauf lors de la mise en place de la greffe. L'abord arthroscopique nécessitait les voies 3/4 et 6R pour l'exploration radio-carpienne, les voies MCR (médio-carpienne radiale), MCU (médio-carpienne ulnaire) et MCRA (médio-carpienne radiale accessoire) pour l'exploration médio-carpienne (Figure 1B).

L'exploration radio-carpienne avait lieu en premier, permettant d'effectuer le bilan ligamentaire, cartilagineux et d'évaluer la présence d'une synovite réactionnelle. Venait ensuite l'exploration médio-carpienne avec bilan cartilagineux et repérage du site de pseudarthrose. Le foyer de pseudarthrose était identifié à l'aide du crochet palpeur. Le débridement du foyer pouvait ensuite être pratiqué à l'aide de la curette puis du shaver et de la fraise jusqu'à résection de la totalité du tissu fibreux et sclérotique. La voie MCR était la voie instrumentale pour les pseudarthroses en zone I et II, la voie MCRA était requise pour les pseudarthroses en zone III. L'étape de débridement était essentielle et devait être effectuée jusqu'en zone osseuse saine permettant de visualiser un saignement spontané (épreuve de lâcher de garrot). Le diagnostic d'une éventuelle AVN pouvait alors être confirmé lorsqu'aucun saignement n'était mis en évidence en regard du fragment proximal. L'objectif de cette étape de débridement était de créer une tranchée osseuse au niveau du foyer de pseudarthrose pour accueillir la greffe osseuse (Figure 1C). Préalablement à l'introduction de cette dernière, sous contrôle scopique, une broche de Kirschner de diamètre 1.0 mm était introduite en percutanée depuis le tubercule du scaphoïde en direction du pôle proximal, en guise d'ostéosynthèse provisoire. La bonne position de la broche était confirmée de visu avec l'arthroscope.

Puis, le foyer de pseudarthrose avivé était greffé. L'arthroscope positionné en MCU montrait en continu la zone de débridement alors que la canule de 3.0 mm en MCR ou MCRA servait à introduire les copeaux d'os spongieux. La greffe était ensuite poussée à l'aide du trocard de la canule puis tassée grâce à la spatule jusqu'à combler totalement la zone du défaut (Figure 1D).

La traction pouvait ensuite être relâchée et l'ostéosynthèse complétée avec une ou deux broches supplémentaires de même diamètre (Figure 1E). Un brochage scapho-lunaire était nécessaire pour les pseudarthroses du pôle proximal en zone I pour une durée de 8 semaines. Une fois l'obtention d'un contrôle scopique satisfaisant, les broches étaient recoupées et enfouies sous la peau puis les incisions cutanées suturées au fil non résorbable.

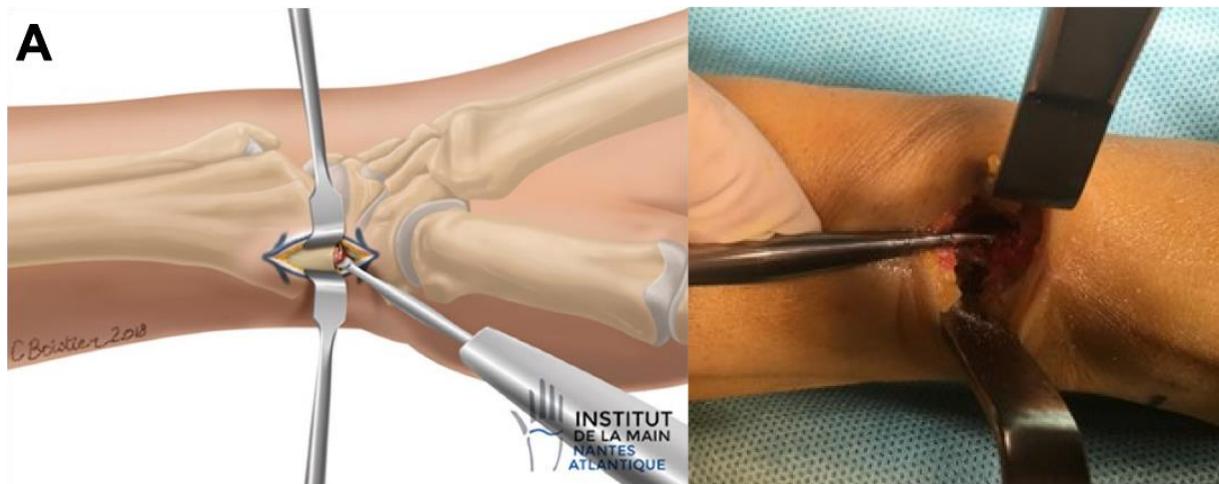


Figure 1A : Prélèvement de la greffe spongieuse au niveau du radius distal homolatéral par une incision latérale.

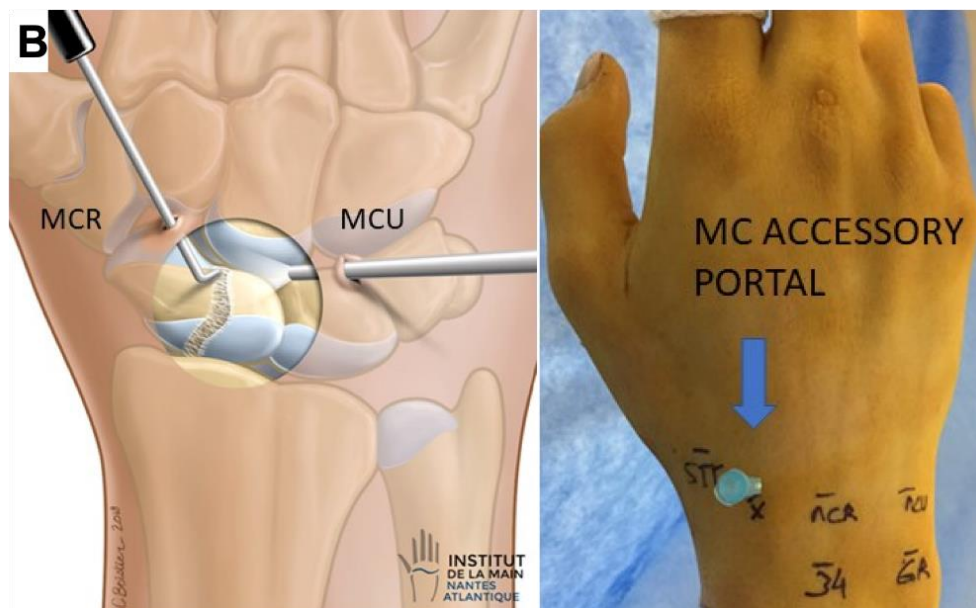


Figure 1B : Voies d'abord arthroscopiques médio-carpiennes. MCR ou médio-carpienne radiale, MCU ou médio-carpienne ulnaire, MCRA ou médio-carpienne radiale accessoire. La voie accessoire MCRA est une voie supplémentaire permettant un accès direct au site de pseudarthrose. Elle est localisée entre la voie MCR et l'espace STT (scapho-trapézo-trapézoïdal), le long du long extenseur du pouce et des extenseurs radiaux du carpe.

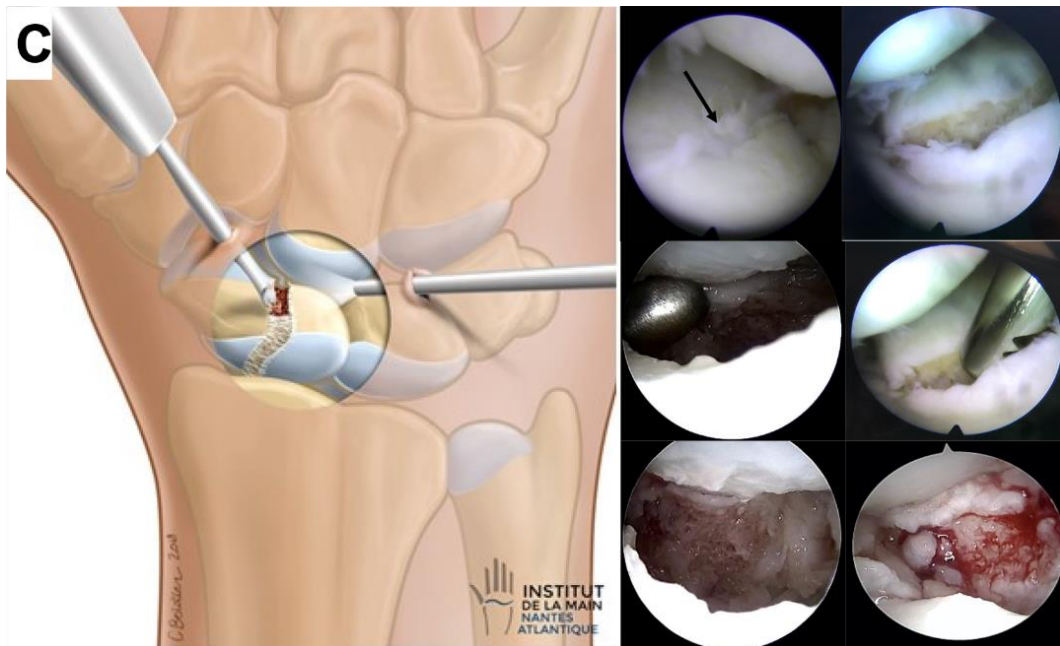


Figure 1C : Débridement du foyer de pseudarthrose (flèche) à la curette puis au shaver de 2.9 mm et/ou à la fraise de 3.0 mm. Le crochet palpeur est utilisé pour confirmer la localisation du foyer de pseudarthrose. Le but est de créer une tranchée osseuse dont les extrémités sont faites d'os spongieux sain confirmé par la présence d'un saignement punctiforme.

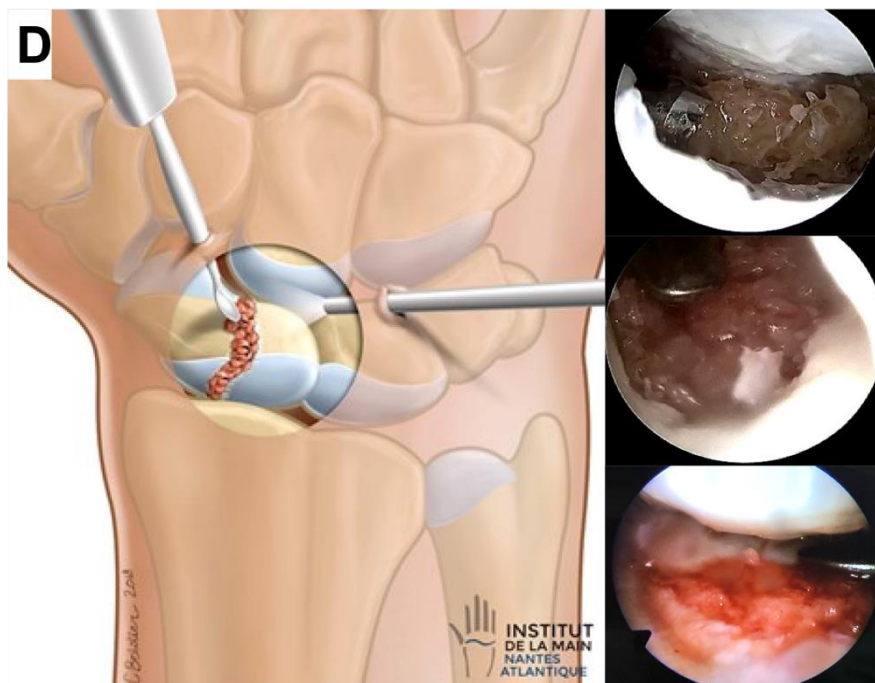


Figure 1D : La canule de 3.0 mm est utilisée pour pousser la greffe osseuse spongieuse dans la tranchée créée puis elle est tassée avec la spatule jusqu'à combler entièrement le défaut osseux.

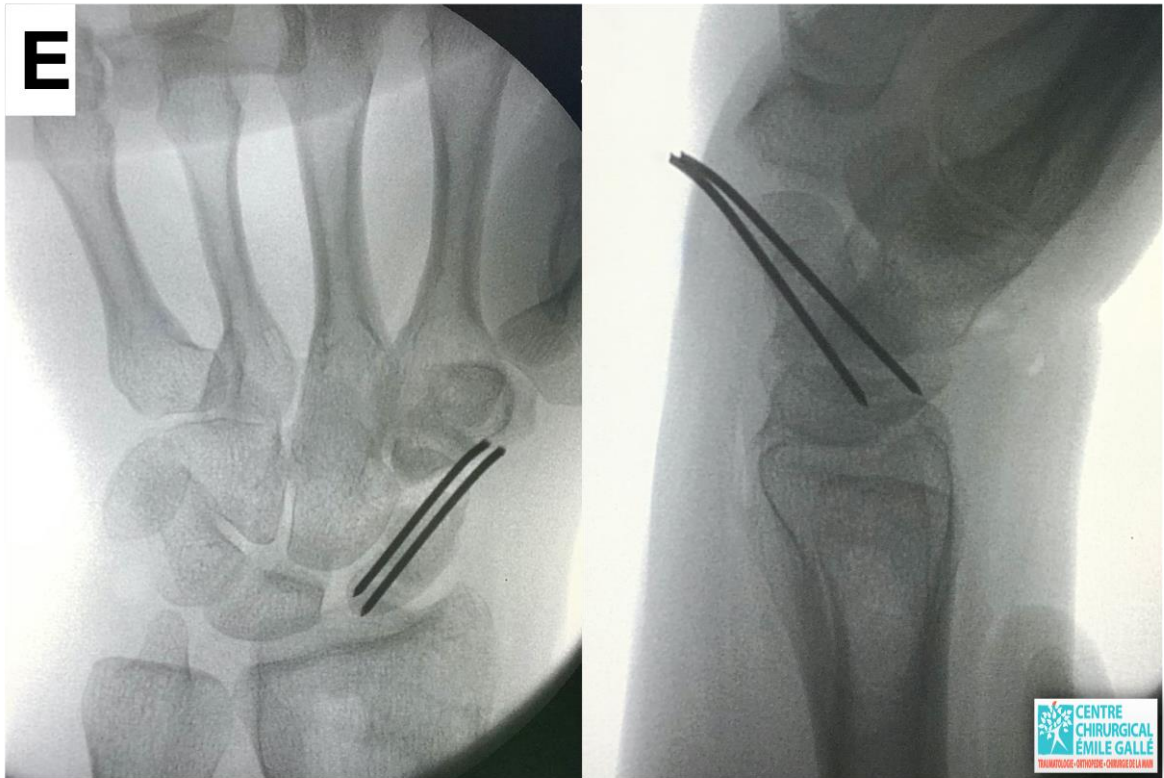


Figure 1E : Contrôles scopiques per-opératoire de face et de profil de l'ostéosynthèse par broches de Kirschner de diamètre 1.0 mm.

Protocole post opératoire

Au décours de l'intervention, le poignet était immobilisé dans une attelle plâtrée palmaire pendant 48 à 72h puis par une manchette en résine ou orthèse thermoformée pour une durée de 3 mois. Les radiographies étaient effectuées à intervalles réguliers. Au troisième mois et après contrôle radiographique, l'immobilisation était retirée et les patients débutaient la rééducation. Celle-ci était initialement en auto-rééducation puis des séances de kinésithérapie étaient prescrites au besoin. Le port de charges lourdes était contre-indiqué pendant 6 mois.

Évaluation clinique et fonctionnelle

La douleur au repos et à l'effort était évaluée sur l'échelle visuelle analogique (EVA) (0-10) en préopératoire et au dernier recul. Les scores fonctionnels ont également été calculés à partir des questionnaires standardisés Quick version of the Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand Score (Quick DASH) (0-100) et Patient-Rated Wrist Evaluation (PRWE) (0-100).

Au dernier recul, pour le poignet opéré et controlatéral, l'arc de mobilité en flexion-extension était mesuré en degrés ($\pm 2^\circ$) avec un goniomètre (Prestige® Medical, Northridge, USA) et la force de serrage (kg) évaluée grâce au dynamomètre hydraulique de main Jamar® (Performance Health®, Charleville-Mézières, France). Le nombre de séances de kinésithérapie nécessaires et le délai de reprise du travail ont été également recueillis. Les patients ont pu évaluer leur satisfaction globale en 4 stades : insatisfait, moyennement satisfait, satisfait et très satisfait.

Évaluation radiologique

Au dernier recul, chaque patient avait un bilan radiographique standard avec des clichés de face et de profil analysés sur le logiciel J4care Smooth Viewer© (J4Care GmbH, Mödling, Austria). Nous évaluons la consolidation, l'absence de déplacement secondaire du matériel d'ostéosynthèse ainsi que l'absence de développement d'arthrose. La consolidation était systématiquement confirmée par un TDM du poignet. Le délai de consolidation était calculé en mois. Sur les clichés de profil, l'angle scapho-lunaire (SLA – angle mesuré entre l'axe longitudinal du scaphoïde et du lunatum) et l'angle latéral intrascaphoïdien (LISA – angle mesuré par les perpendiculaires des surfaces du pôle proximal et distal du scaphoïde) étaient mesurés en degrés (précision de 1°). Un SLA supérieur à 70° et un LISA supérieur à 35° étaient considérés comme pathologiques (Amadio et al., 1987). Sur les clichés de face, l'index de Youm était calculé en divisant la hauteur carpienne en millimètres par la longueur du 3^{ème} métacarpien en millimètres (Youm et al., 1978). Sa valeur normale était comprise entre 0.51 et 0.57.

Analyse statistique

Les variables quantitatives étaient calculées en moyennes et intervalles ; les variables qualitatives en nombres et pourcentages. Le test de Student était utilisé pour comparer les variables quantitatives avec un résultat jugé significatif si $p < 0,05$.

RÉSULTATS

Le recul moyen à la révision était de 18 mois (6-56) avec un délai moyen entre le traumatisme et l'intervention de 15 mois (5-60). La cicatrisation a été obtenue chez tous les patients en deux semaines et l'auto-rééducation systématiquement débutée à 3 mois postopératoires. 71% des patients ont effectué des séances de kinésithérapie avec une moyenne de 15 séances (10-20). Au dernier recul, tous les patients avaient repris leur profession au même poste. Le délai moyen d'arrêt de travail était de 5 mois (3-12). Les broches ont été retirées uniquement après consolidation à l'exception des broches scapho-lunaires qui ont été systématiquement retirées à 8 semaines postopératoires.

Résultats de l'exploration arthroscopique

Dans tous les cas, la pseudarthrose a été confirmée durant l'étape d'exploration arthroscopique. Un patient présentait une lésion chondrale sur la styloïde radiale ayant nécessité une styloïdectomie durant la même procédure. Un patient présentait une lésion centrale du ligament triangulaire (TFCC) traité par débridement au shaver. Il n'y avait pas de lésions des ligaments interosseux scapho-lunaire et luno-triquétral. Concernant le patient suspect d'AVN du pôle proximal à l'IRM, nous avons observé un saignement punctiforme après le débridement de la zone de pseudarthrose nous permettant de confirmer l'absence d'AVN et donc la possibilité de poursuite de la procédure sous arthroscopie.

Résultats cliniques et fonctionnels

Au dernier recul, par rapport à la période préopératoire, la douleur était significativement diminuée ($p < 0,001$). Les scores Quick DASH et le PRWE étaient significativement améliorés, en moyenne de 29 et 41 points respectivement. Par rapport au côté controlatéral, la force de serrage était de 83% ($p = 0,004$) et la flexion active était significativement diminuée (64° vs 76° , $p = 0,002$). En revanche, il n'y avait pas de différence significative concernant l'extension et l'inclinaison radio-ulnaire actives à la révision ($p > 0,05$) (Tableau 2). Sept patients se disaient moyennement satisfaits, 10 patients satisfaits, et 25 patients très satisfaits de l'intervention.

Résultats radiologiques

La consolidation a été obtenue chez 37 patients (88%) avec un délai moyen de 3 mois (2-8). Il n'y a pas eu de cas de déplacement secondaire des broches d'ostéosynthèse, ni de développement d'arthrose (Figures 2 et 3).

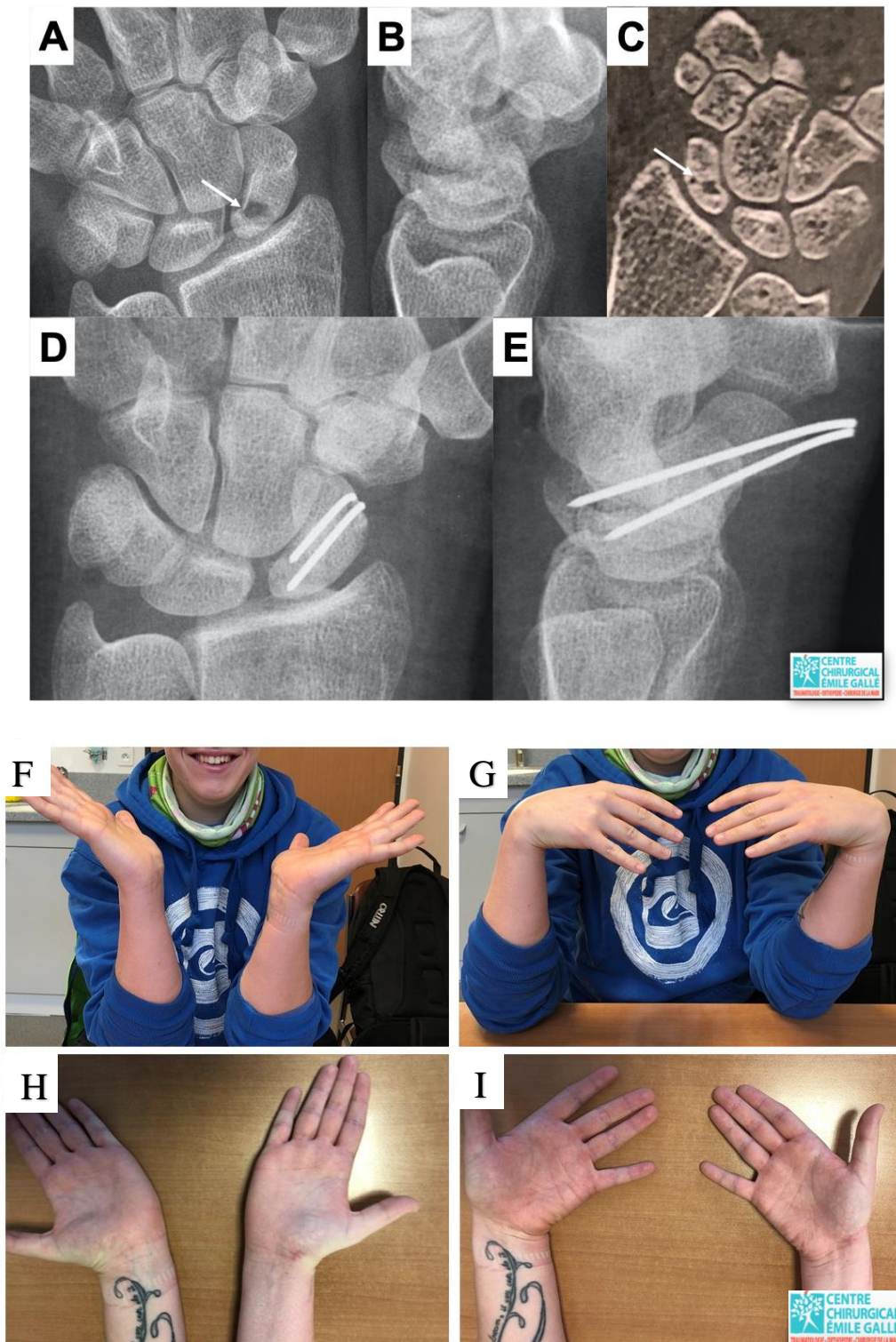


Figure 2 : Radiographies de face (A) et de profil strict (B), et coupe coronale scannographique (C) d'un poignet droit, montrant le cas d'une pseudarthrose du scaphoïde (flèches). Radiographies de face (D) et de profil strict (E) à 3 mois postopératoires montrant la consolidation osseuse. Évaluation clinique au dernier recul avec les mobilités actives en extension (F), flexion (G), inclinaison radiale (H) et ulnaire (I).

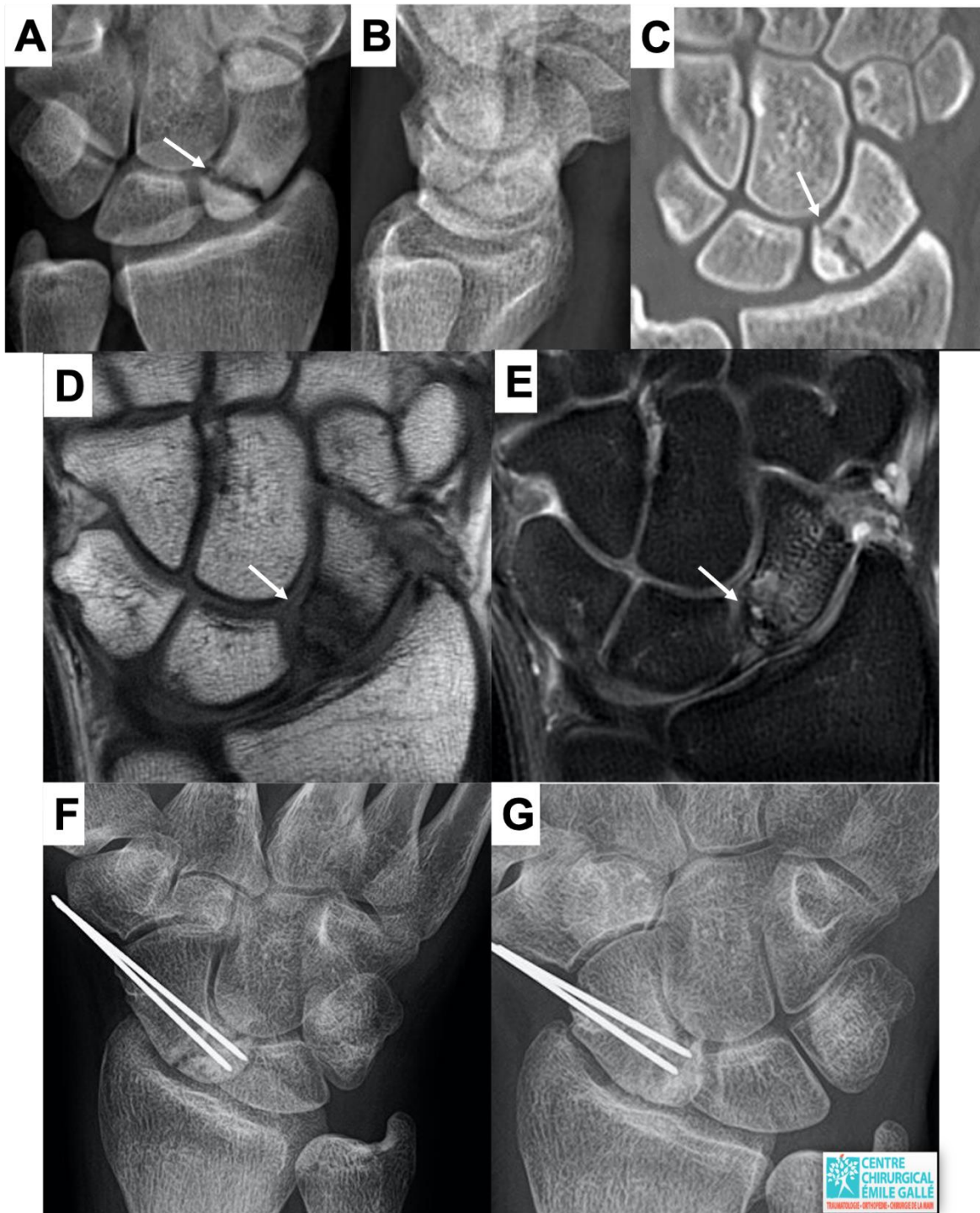


Figure 3 : Radiographies de face (A) et de profil strict (B), et coupe coronale scannographique (C) d'un poignet gauche, montrant le cas d'une pseudarthrose du pôle proximal du scaphoïde (flèches). IRM du même poignet en coupe coronale avec signes en faveur d'une suspicion d'AVN du pôle proximal. (D : hyposignal en séquence T1, E : hypersignal en séquence T2) (flèches). Radiographies à 6 mois postopératoires montrant une consolidation osseuse partielle (F) puis à 8 mois avec consolidation osseuse totale (G).

Le SLA, le LISA et l'index de Youm n'ont pas été significativement modifiés et leurs valeurs étaient dans la norme en pré et postopératoire (Tableau 2).

Tableau 2 : Comparaison des résultats cliniques et radiographiques (moyennes et intervalles) de la population étudiée (42 patients) entre la période préopératoire et le dernier recul.

Paramètres	Préopératoire	Dernier recul	P
Douleur au repos (EVA) (/10)	3 (0-7)	0 (0-1)	<0,001
Douleur à l'effort (EVA) (/10)	8 (3-10)	1 (0-3)	<0,001
Quick DASH (/100)	40 (14-80)	11 (0-35)	<0,001
PRWE (/100)	52 (18-87)	11 (0-40)	<0,001
Angle scapho-lunaire (°)	57 (40-70)	58 (49-65)	0,75
LISA (°)	26 (10-35)	25 (9-35)	0,87
Index de Youm	0,54 (0,47-0,63)	0,54 (0,47-0,64)	0,75

Paramètres	Dernier recul	Controlatéral	P
Force de serrage (kg)	39 (16-60)	47 (24-80)	0,004
Flexion (°)	64 (20-90)	76 (60-90)	0,002
Extension (°)	61 (20-80)	67 (50-80)	0,11
Inclinaison radiale (°)	27 (10-50)	27 (10-45)	0,67
Inclinaison ulnaire (°)	31 (20-45)	35 (20-55)	0,08

EVA: échelle visuelle analogique; Quick DASH: Quick version of the Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand; PRWE: Patient-rates wrist evaluation; LISA: angle intrascaphoïdien lateral.

Complications et reprises chirurgicales

Il n'y a pas eu de complications peropératoires ni postopératoires immédiates. Aucun patient n'a présenté de syndrome douloureux régional complexe. La consolidation n'a pu être obtenue chez 5 patients (12%). Trois d'entre eux étaient fumeurs et deux autres étaient classés grade V selon Slade et Dodds. Quatre patients (9,5%) ont été repris chirurgicalement. Trois ont bénéficié d'une greffe par crête iliaque à ciel ouvert avec consolidation en 3 mois. Le dernier patient a bénéficié d'une scaphoïdectomie avec arthrodèse des 4 os internes devant un scaphoïde jugé non conservable. Un patient n'a pas été réopéré car asymptomatique.

DISCUSSION

Au vu de nos résultats, la greffe osseuse sous arthroscopie avec ostéosynthèse par broches a montré une amélioration significative de la douleur et des scores fonctionnels avec un taux de consolidation de 88%. Nos résultats cliniques et radiologiques sont comparables à ceux des autres études publiées sur la même technique. Leur nombre moyen de patients était similaire au nôtre (39 patients en moyenne dans la littérature) (Tableau 3).

Nos patients avaient une importante diminution de la douleur et une bonne force de serrage par rapport au côté controlatéral (83%). Ces résultats sont cohérents avec ceux des autres études dans lesquelles la force de serrage varie de 81% pour Oh et al. (2018) à 92% pour Lee et al. (2014). Au dernier recul, l'arc moyen de flexion-extension était de 125° pour une moyenne des autres séries à 122° (105° pour Kim et al. (2015) à 178° pour Lee et al. (2018)).

Notre taux de consolidation est également comparable à celui des autres études qui varie entre 86% pour Kim et al. (2015) et 100% pour Cagnet et al. (2016). De plus, ces taux sont également comparables à ceux des autres techniques chirurgicales décrites pour les pseudarthroses du scaphoïde. En effet, Pinder et al. (2015) rapportaient dans leur méta-analyse de 1602 patients 92% de taux de consolidation pour les greffes osseuse vascularisées, 88% pour les greffes osseuses non vascularisées. Les greffes radiales et iliaques avaient des résultats similaires avec un taux de consolidation de 89% et 87% respectivement.

Notre délai de consolidation était de 3 mois, également dans la moyenne de la littérature (de 2,5 mois pour Lee et al. (2018) à 4 mois pour Cagnet et al. (2016)).

Concernant les reprises chirurgicales pour non-consolidation, Lee et al. (2018) rapportaient un cas sur 27, Kim et al. (2015) 2 sur 36, et Wong et Ho (2019) 6 sur 125. Dans notre étude, 4 patients ont dû être repris chirurgicalement.

La greffe osseuse sous arthroscopie est conventionnellement utilisée pour les pseudarthroses du tiers proximal et moyen du scaphoïde. Pour le tiers moyen, la voie accessoire médio-carpienne est nécessaire afin d'insérer les instruments juste au-dessus de la zone de pseudarthrose à aviver. Cagnet et al. (2016), Kim et al. (2015) et Lee et al. (2018) décrivaient également cette voie accessoire qui permet un accès direct à la zone de « travail » facilitant son débridement puis sa greffe.

L'indication de cette technique est actuellement discutée par plusieurs auteurs en cas de présence d'une déformation en DISI. Delgado-Serrano et al. (2017), Liu et al. (2019) et Wong et Ho (2019) effectuaient une manœuvre de Linscheid (brochage temporaire radio-lunaire) afin de réduire la désaxation du lunatum. Ils ont obtenu de bons résultats avec une correction de l'angle scapho-lunaire et une restauration de la hauteur du scaphoïde. Oh et al. (2018) utilisaient quant à eux le crochet palpeur pour réduire la déformation du scaphoïde mais ont constaté une meilleure réduction à ciel ouvert, bien que les résultats ne soient pas significatifs, et des taux de consolidation similaires. Les patients de notre étude ne présentaient pas de DISI et nous ne pouvons donc pas conclure formellement sur cette problématique. Cependant, nous suggérons que la déformation en DISI ne doit pas être considérée comme une contre-indication absolue à une greffe sous arthroscopie en l'absence de collapsus intracarpien avéré.

Il est actuellement classique de dire que la vascularisation du pôle proximal est corrélée à la probabilité de succès des traitements des pseudarthroses du scaphoïde et paraît donc très importante à évaluer dans la planification du traitement chirurgical. En effet, lorsque l'apport artériel du pôle distal au pôle proximal est interrompu après une fracture, le pôle proximal est privé de son apport vasculaire en raison de la structure axiale du réseau artériel alimentant le scaphoïde ; il est donc prédisposé à l'ischémie et à l'AVN (Büchler et Nagy, 1995; Green 1985; Russe, 1960; Trumble, 1990). L'IRM semble avoir la meilleure performance diagnostique pour évaluer l'état vasculaire du scaphoïde (Ciprian et al., 2004; Donati et al., 2011; Fox et al., 2010). Cependant, Megerle et al. (2011) et Singh et al. (2004) ont conclu dans leurs études respectives que l'évaluation de la vascularisation par l'IRM ne pouvait pas prédire avec précision les résultats d'une chirurgie conservatrice. Selon eux, il ne semble pas exister de corrélation significative entre l'évaluation de la vascularisation en préopératoire par imagerie et la consolidation future du scaphoïde après chirurgie. Rancy et al. (2018) ont conclu qu'en dépit d'une suspicion d'AVN à l'IRM, l'ischémie totale du pôle proximal était rare et qu'un greffon vascularisé était rarement requis. Wong et Ho (2019), en utilisant une greffe osseuse arthroscopique, ont montré de bons résultats avec 82% de consolidation chez les patients présentant une AVN suspectée à l'IRM mais avec un saignement peropératoire (faible mais présent) du pôle proximal. Un de nos patients présentait le même tableau et a consolidé en 8 mois. Kim et al. (2018) allaient encore plus loin avec 89% de consolidation en utilisant une greffe iliaque non vascularisée chez des patients avec défaut de vascularisation à l'IRM et sans aucun saignement peropératoire du pôle proximal. Nous suggérons tout de même qu'en cas d'AVN suspectée à l'IRM, le premier temps arthroscopique soit dédié à l'évaluation du saignement du pôle proximal permettant de confirmer définitivement la possibilité de poursuivre la procédure arthroscopique.

Notre étude a ses limites. Du fait qu'elle soit rétrospective, nous n'avons pas les mesures préopératoires des mobilités et de la force de serrage. Deuxièmement, nous avons un effectif limité de patients bien qu'il soit comparable à celui des autres études. Enfin, nous n'avons qu'un cas de suspicion d'AVN à l'IRM ayant consolidé, ce qui ne nous permet pas de généraliser nos résultats aux patients présentant ce tableau. Cependant, l'arthroscopie permet l'évaluation d'un saignement peropératoire du fragment proximal après débridement du foyer de pseudarthrose et donc de conclure sur l'état de sa vascularisation. De même, nous ne pouvons pas extrapoler nos résultats lorsqu'il existe une déformation en DISI du lunatum.

Au vu de notre étude, la greffe osseuse sous arthroscopie avec ostéosynthèse par broches est apparue comme un traitement fiable, efficace et peu invasif pour traiter les pseudarthroses du tiers proximal et moyen du scaphoïde dans des stades sans désaxation intracarpienne sévère et sans arthrose SNAC. Cette technique présente une courbe d'apprentissage afin d'être précise en vue d'obtenir un résultat optimal. Des études complémentaires avec un recul plus important seraient d'une grande utilité afin de confirmer nos résultats à moyen et long terme et de s'assurer notamment de l'absence de développement d'arthrose.

Tableau 3 : Résultats cliniques et radiologiques des principales études publiées sur les pseudarthroses du scaphoïde traitées par greffe osseuse arthroscopique.

Auteurs	Nombre de patients	Recul (mois)	Taux de consolidation (%)	Délai de consolidation (mois)	Arc FE (°) (% controlatéral)	EVA (0-10)	Force de serrage (kg) (% controlatéral)	Reprises
Wong and Ho (2011)	68	39,5	91	3	n/a	n/a	n/a	4 (pas de détails)
Chu and Shih (2011)	15	33	93	4	115	n/a	n/a	/
Lee et al. (2014)	20	18	100	3,5	n/a (92)	1,6	n/a (92)	/
Kang et al. (2015)	33	33	97	n/a	109	0,6	50	/
Kim et al. (2015)	36	37	86	3	105	n/a	35 (89)	2 greffes vascularisées
Cognet et al. (2016)	23	17	100	4	11	1,5	41	/
Oh et al. (2018)	28	39,6	96	n/a	108	0,6	n/a (81)	/
Lee et al. (2018)	27	18	96	2,5	178	1,6	33 (82)	1 greffe non vascularisée
Liu et al. (2019)	14	26	100	3	n/a (96)	n/a	n/a	/
Wong and Ho (2019)	125	34	90	3,5	n/a	1,3	36	3 greffes vascularisées et 3 reprises d'ABG
Moyenne	39	29,5	95	3,3	122	1,2	39 (86)	/
Notre étude	42	18	88	3	125 (87)	1	39 (83)	3 greffes non vascularisées et une arthrodèse 4 os

FE : flexion-extension, EVA : échelle visuelle analogique, n/a : not available, ABG : greffe osseuse arthroscopique

Références

- Adams J D, Leonard R D. Fracture of carpal scaphoid; new method of treatment with report of one case. *New Eng J Med* 1928; 401-4.
- Alluri RK, Yin C, Iorio ML, Leland H, Wong J, Patel K. Vascularized Bone Grafting in Scaphoid Nonunion: A Review of Patient-Centered Outcomes. *Hand N Y N.* 2017; 12: 127-34.
- Amadio PC, Berquist TH, Smith DK, Ilstrup DM, Cooney WP, Linscheid RL. Scaphoid malunion. *J Hand Surg Am.* 1989; 14: 679-87.
- Berdia S, Wolfe SW. Effects of scaphoid fractures on the biomechanics of the wrist. *Hand Clin.* 2001; 17: 533-40.
- Braga-Silva J, Peruchi FM, Moschen GM, Gehlen D, Padoin AV. A comparison of the use of distal radius vascularised bone graft and non-vascularised iliac crest bone graft in the treatment of non-union of scaphoid fractures. *J Hand Surg Eur Vol.* 2008; 33: 636-40.
- Büchler U, Nagy L. The issue of vascularity in fractures and non-union of the scaphoid. *J Hand Surg Edinb Scotl.* 1995; 20: 726-35.
- Buijze GA, Ochtman L, Ring D. Management of scaphoid nonunion. *J Hand Surg Am.* 2012; 37: 1095-100
- Bush CH, Gillespy T, Dell PC. High-resolution CT of the wrist: initial experience with scaphoid disorders and surgical fusions. *AJR Am J Roentgenol.* 1987; 149: 757-60.
- Bynum EB, Culp RW, Bonatus TJ, Alexander CE, McCarroll HR. Repeat Russe bone grafting after failed bone graft surgery for scaphoid non-union. *J Hand Surg Edinb Scotl.* 1995; 20: 373-8.
- Chang MA, Bishop AT, Moran SL, Shin AY. The outcomes and complications of 1,2-intercompartmental supraretinacular artery pedicled vascularized bone grafting of scaphoid nonunions. *J Hand Surg Am.* 2006; 31: 387-96.
- Ciprian S, Iochum S, Kohlmann R, Dautel G, Dap F, Blum A. MR imaging accuracy in the prediction of bone graft healing potential in scaphoid non-union. *J Radiol.* 2004; 85: 1699-706.
- Cognet J-M, Louis P, Martinache X, Schernberg F. Arthroscopic grafting of scaphoid nonunion – surgical technique and preliminary findings from 23 cases. *Hand Surg Rehabil.* 2016; 36: 17-23.
- Cosio MQ, Camp RA. Percutaneous pinning of symptomatic scaphoid nonunions. *J Hand Surg Am.* 1986; 11: 350-5.
- Delgado-Serrano PJ, Jiménez-Jiménez I, Nikolaev M, Figueredo-Ojeda FA, Rozas-López MG de. Arthroscopic reconstruction for unstable scaphoid non-union. *Rev Espanola Cirugia Ortop Traumatol.* 2017; 61: 216-23.

- Doi K, Oda T, Soo-Heong T, Nanda V. Free vascularized bone graft for nonunion of the scaphoid. *J Hand Surg Am.* 2000; 25: 507-19.
- Ferguson DO, Shanbhag V, Hedley H, Reichert I, Lipscombe S, Davis TRC. Scaphoid fracture non-union: a systematic review of surgical treatment using bone graft. *J Hand Surg Eur Vol.* 2016; 41: 492-500.
- Fisk GR. Carpal instability and the fractured scaphoid. *Ann R Coll Surg Engl.* 1970; 46: 63-76.
- Gelberman RH, Menon J. The vascularity of the scaphoid bone. *J Hand Surg Am.* 1980; 5: 508-13.
- Green DP. The effect of avascular necrosis on Russe bone grafting for scaphoid nonunion. *J Hand Surg Am.* 1985; 10: 597-605.
- Hove LM. Epidemiology of scaphoid fractures in Bergen, Norway. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg Am.* 1999; 33: 423-6.
- Jegal M, Kim JS, Kim JP. Arthroscopic Management of Scaphoid Nonunions. *Hand Surg.* 2015; 20: 215-21.
- Kang HJ, Chun Y-M, Koh IH, Park JH, Choi YR. Is Arthroscopic Bone Graft and Fixation for Scaphoid Nonunions Effective? *Clin Orthop.* 2016; 474: 204-12.
- Kim JP, Seo JB, Yoo JY, Lee JY. Arthroscopic management of chronic unstable scaphoid nonunions: effects on restoration of carpal alignment and recovery of wrist function. *Arthroscopy.* 2015; 31: 460-9.
- Laulan J, Marteau E, Bacle G. Wrist osteoarthritis. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2015; 101: S1-9.
- Lee Y-K, Choi K-W, Woo S-H, Ho PC, Lee M. The clinical result of arthroscopic bone grafting and percutaneous K-wires fixation for management of scaphoid nonunions. *Medicine (Baltimore).* 2018; e9987.
- Lee Y-K, Woo S-H, Ho PC, Park J-G, Kim J-Y. Arthroscopically assisted Cancellous Bone Grafting and Percutaneous K-Wires Fixation for the Treatment of Scaphoid Nonunions. *J Korean Soc Surg Hand.* 2014;19: 19-28.
- Liu B, Wu F, Ng CY. Wrist arthroscopy for the treatment of scaphoid delayed or nonunions and judging the need for bone grafting. *J Hand Surg Eur Vol.* 2019; 44: 594-9.
- Lozano-Calderón S, Blazar P, Zurakowski D, Lee S-G, Ring D. Diagnosis of scaphoid fracture displacement with radiography and computed tomography. *J Bone Joint Surg Am.* 2006; 88: 2695-703.
- Mahmoud M, Koptan W. Percutaneous screw fixation without bone grafting for established scaphoid nonunion with substantial bone loss. *J Bone Joint Surg Br.* 2011; 93: 932-6.
- Merrell GA, Wolfe SW, Slade JF. Treatment of scaphoid nonunions: quantitative meta-analysis of the literature. *J Hand Surg Am.* 2002; 27: 685-91.

- Munk B, Larsen CF. Bone grafting the scaphoid nonunion: a systematic review of 147 publications including 5,246 cases of scaphoid nonunion. *Acta Orthop Scand*. 2004; 75: 618-29.
- Oh W-T, Kang H-J, Chun Y-M, Koh I-H, Lee Y-J, Choi Y-R. Retrospective Comparative Outcomes Analysis of Arthroscopic Versus Open Bone Graft and Fixation for Unstable Scaphoid Nonunions. *Arthroscopy*. 2018; 34: 2810-8.
- Özalp T, Öz Ç, Kale G, Erkan S. Scaphoid nonunion treated with vascularised bone graft from dorsal radius. *Injury*. 2015; 46: S47-52.
- Pao VS, Chang J. Scaphoid nonunion: diagnosis and treatment. *Plast Reconstr Surg*. 2003; 112: 1666-76; quiz 1677; discussion 1678-1679.
- Pechlaner S, Hussl H, Künzel KH. Alternative surgical method in pseudarthroses of the scaphoid bone. Prospective study. *Handchir Mikrochir Plast Chir*. 1987; 19: 302-5.
- Pinder RM, Brkljac M, Rix L, Muir L, Brewster M. Treatment of Scaphoid Nonunion: A Systematic Review of the Existing Evidence. *J Hand Surg Am*. 2015; 40: 1797-1805.
- Rancy SK, Swanstrom MM, DiCarlo EF, Sneag DB, Lee SK, Wolfe SW, et al. Success of scaphoid nonunion surgery is independent of proximal pole vascularity. *J Hand Surg Eur Vol*. 2018; 43: 32-40.
- Reigstad O, Thorkildsen R, Grimsgaard C, Reigstad A, Røkkum M. Is revision bone grafting worthwhile after failed surgery for scaphoid nonunion? Minimum 8 year follow-up of 18 patients. *J Hand Surg Eur Vol*. 2009; 34: 772-7.
- Ross PR, Lan W-C, Chen J-S, Kuo C-F, Chung KC. Revision surgery after vascularized or non-vascularized scaphoid nonunion repair: A national population study. *Injury*. 2020.
- Ruby LK, Stinson J, Belsky MR. The natural history of scaphoid non-union. A review of fifty-five cases. *J Bone Joint Surg Am*. 1985; 67: 428-32.
- Russe O. Fracture of the carpal navicular. Diagnosis, non-operative treatment, and operative treatment. *J Bone Joint Surg Am*. 1960; 42: 759-68.
- Sanders WE. Evaluation of the humpback scaphoid by computed tomography in the longitudinal axial plane of the scaphoid. *J Hand Surg*. 1988; 13: 182-7.
- Schuind F, Mounghondo F, El Kazzi W. Prognostic factors in the treatment of carpal scaphoid non-unions. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2017; 27: 3-9.
- Sheetz KK, Bishop AT, Berger RA. The arterial blood supply of the distal radius and ulna and its potential use in vascularized pedicled bone grafts. *J Hand Surg Am*. 1995; 20: 902-14.
- Slade JF, Geissler WB, Gutow AP, Merrell GA. Percutaneous internal fixation of selected scaphoid nonunions with an arthroscopically assisted dorsal approach. *J Bone Joint Surg Am*. 2003;85: 20-32.

- Smith ML, Bain GI, Chabrel N, Turner P, Carter C, Field J. Using computed tomography to assist with diagnosis of avascular necrosis complicating chronic scaphoid nonunion. *J Hand Surg Am.* 2009; 34: 1037-43.
- Somerson JS, Fletcher DJ, Srinivasan RC, Green DP. Compression screw fixation without bone grafting for scaphoid fibrous nonunion. *Hand N Y N.* 2015; 10: 450-3.
- Taleb C, Bodin F, Collon S, Gay A, Facca S, Liverneaux P. Retrograde percutaneous screw fixation for scaphoid type II non-union in Schernberg zones 2 to 4: a series of 38 cases. *Chir Main.* 2015; 34: 32-8.
- Tang JB, Giddins G. Why and how to report surgeons' levels of expertise. *J Hand Surg Eur Vol.* 2016; 41: 365-6.
- Trumble TE. Avascular necrosis after scaphoid fracture: a correlation of magnetic resonance imaging and histology. *J Hand Surg Am.* 1990; 15: 557-64.
- Vender MI, Watson HK, Wiener BD, Black DM. Degenerative change in symptomatic scaphoid nonunion. *J Hand Surg Am.* 1987; 12: 514-9.
- Yeo JH, Kim JY. Surgical Strategy for Scaphoid Nonunion Treatment. *J Hand Surg Asian-Pac Vol.* 2018; 23: 450-62.
- 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: 423-31.

Annexes

1. Score Quick Dash

		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.

Calcul du score du QuickDASH = ([somme des n réponses] - 1) X 25, où n est égal au nombre de réponses.

2. Score PRWE

PRWE													
Evaluation du poignet par le patient													
Nom: _____			Signature: _____				Date: _____						
<p>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 décrivez 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.</p>													
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				
Au repos			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lorsque vous faites une tâche avec un mouvement répétitif du poignet			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lorsque vous soulevez un objet lourd			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lorsque la douleur est à son comble			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Avez vous souvent mal?			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			Jamais					Toujours					
 FONCTION													
A. ACTIVITES SPECTIFIQUES - Veuillez évaluer le niveau de difficulté que vous avez éprouvé à accomplir avec votre main atteint 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				
Tourner une poignée de porte			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Couper de la viande			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Boutonner ma chemise			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Se lever d'une chaise			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Porter un objet de 5 Kg			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Utiliser du papier toilette			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
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				
Soins personnels (s'habiller, se laver)			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tâches ménagères (nettoyage, entretien)			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Travail (votre emploi ou tâches quotidiennes habituelles)			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Loisirs			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

RÉSUMÉ DE LA THÈSE :

Introduction : Notre objectif était de rapporter les résultats de la greffe osseuse sous arthroscopie des pseudarthroses du scaphoïde après en avoir décrit la technique chirurgicale.

Matériel et méthodes : Il s'agit d'une étude rétrospective bicentrique non randomisée de 42 patients d'âge moyen 25 ans (15-56). Tous ont été opérés d'une greffe osseuse spongieuse autologue sous arthroscopie avec ostéosynthèse par broches pour le traitement d'une pseudarthrose du tiers proximal et moyen du scaphoïde, sans désaxation intracarpienne ni arthrose Scaphoid Non Advanced Collapse - SNAC. L'ensemble des patients a été revu en consultation par un examinateur indépendant au recul minimum de 6 mois pour une évaluation clinique et radiologique.

Résultats : Le délai moyen entre le traumatisme et l'intervention chirurgicale était de 15 mois (5-60). Avec un recul moyen de 18 mois (6-56), la douleur au repos et à l'effort était significativement diminuée passant respectivement de 3 à 0 et de 8 à 1 sur 10 à l'échelle visuelle analogique. Les scores fonctionnels Quick DASH et le PRWE étaient également significativement améliorés. Au dernier recul, le force de serrage était de 83% par rapport au côté controlatéral, et la mobilité active en flexion-extension et inclinaison radio-ulnaire de 125° et 58° (versus 143° et 62° côté controlatéral). La consolidation a été acquise chez 37 patients (88%) avec un délai moyen de 3 mois (2-8). Aucun patient n'a présenté de développement d'arthrose SNAC. Les angles scapho-lunaire et latéral intrascaphoïdien ainsi que l'index de hauteur carpienne de Youm ne présentaient aucune différence significative par rapport aux données préopératoires. Quatre patients (9.5%) ont été repris chirurgicalement pour échec de consolidation.

Conclusion : Au vu de nos résultats, la greffe osseuse sous arthroscopie est apparue comme une chirurgie fiable et efficace pour traiter les pseudarthroses du tiers proximal et moyen du scaphoïde lorsqu'il s'agit de stades sans désaxation intracarpienne majeure et sans arthrose SNAC installée. Son caractère peu invasif permet de préserver la vascularisation du scaphoïde ainsi que l'intégrité des structures capsulo-ligamentaires.

TITRE EN ANGLAIS : Arthroscopic bone grafting for scaphoid nonunion: a retrospective study of 42 cases.

MOTS CLÉS : Arthroscopic bone grafting, Scaphoid, Nonunion, Wrist arthroscopy

THÈSE : MÉDECINE SPÉCIALISÉE / CHIRURGIE GÉNÉRALE-ANNÉE 2020

INTITULÉ ET ADRESSE :

Université de Lorraine

Faculté de Médecine de Nancy

9, avenue de la Forêt de Haye, 54505 VANDOEUVRE LÈS NANCY Cedex
