



كلية الطب
والصيدلة - مراكش
FACULTÉ DE MÉDECINE
ET DE PHARMACIE - MARRAKECH

Année 2016

Thèse N° 75

Morphologie des courbures proximales du lunatum et du capitatum

THESE

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 25/ 05 /2016

PAR

Mlle. Kaoutar JALOUNI

Née le 14 Mai 1989 à Marrakech

POUR L'OBTENTION DU DOCTORAT EN MÉDECINE

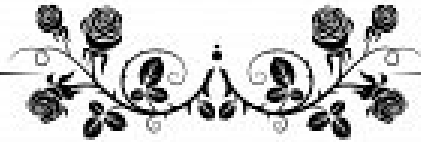
MOTS-CLÉS

Lunatum – Capitatum – Cercle osculateur – arthrodèse capito-
lunaire – résection première rangée.

JURY

Mme.	N. MANSOURI	PRESIDENTE
	Professeur de Chirurgie maxillofaciale	
Mr.	R. CHAFIK	RAPPORTEUR
	Professeur agrégé de Traumato-orthopédie	
Mme.	H. EL HAOURY	JUGES
	Professeur agrégée de Traumato-orthopédie	
Mr.	M. MADHAR	
	Professeur agrégé de Traumato-orthopédie	

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



إِقْرَأْ بِاسْمِ رَبِّكَ الَّذِي خَلَقَ ۝ خَلَقَ الْإِنْسَانَ
مِنْ عَلَقٍ ۝ إِقْرَأْ وَرَبُّكَ الْأَكْرَمُ ۝ الَّذِي
عَلَّمَ بِالْقَلَمِ ۝ عَلَّمَ الْإِنْسَانَ مَا لَمْ يَعْلَمْ ۝
صدق الله العظيم

سورة العلق



Serment d'hypocrate

Au moment d'être admis à devenir membre de la profession médicale, je m'engage solennellement à consacrer ma vie au service de l'humanité.

Je traiterai mes maîtres avec le respect et la reconnaissance qui leur sont dus.

Je pratiquerai ma profession avec conscience et dignité. La santé de mes malades sera mon premier but.

Je ne trahirai pas les secrets qui me seront confiés.

Je maintiendrai par tous les moyens en mon pouvoir l'honneur et les nobles traditions de la profession médicale.

Les médecins seront mes frères.

Aucune considération de religion, de nationalité, de race, aucune considération politique et sociale, ne s'interposera entre mon devoir et mon patient.

Je maintiendrai strictement le respect de la vie humaine dès sa conception.

Même sous la menace, je n'userai pas mes connaissances médicales d'une façon contraire aux lois de l'humanité.

Je m'y engage librement et sur mon honneur.

Déclaration Genève, 1948



*LISTE DES
PROFESSEURS*

UNIVERSITE CADI AYYAD
FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE
MARRAKECH

Doyens Honoraires

: Pr Badie Azzaman MEHADJI

: Pr Abdalheq ALAOUI YAZIDI

ADMINISTRATION

Doyen

: Pr Mohammed BOUSKRAOUI

Vice doyen à la Recherche et la Coopération

: Pr.Ag. Mohamed AMINE

Vice doyen aux Affaires Pédagogique

: Pr.EL FEZZAZI Redouane

Secrétaire Générale

: Mr Azzeddine EL HOUDAIGUI

Professeurs de l'enseignement supérieur

Nom et Prénom	Spécialité	Nom et Prénom	Spécialité
ABOULFALAH Abderrahim	Gynécologie- obstétrique	FINECH Benasser	Chirurgie – générale
AIT BENALI Said	Neurochirurgie	GHANNANE Houssine	Neurochirurgie
AIT-SAB Imane	Pédiatrie	KISSANI Najib	Neurologie
AKHDARI Nadia	Dermatologie	KRATI Khadija	Gastro- entérologie
AMAL Said	Dermatologie	LMEJJATI Mohamed	Neurochirurgie
ASMOUKI Hamid	Gynécologie- obstétrique B	LOUZI Abdelouahed	Chirurgie – générale
ASRI Fatima	Psychiatrie	MAHMAL Lahoucine	Hématologie - clinique
BENELKHAIAT BENOMAR Ridouan	Chirurgie - générale	MANSOURI Nadia	Stomatologie et chirumaxillofaciale
BOUMZEBRA Drissi	Chirurgie Cardio- Vasculaire	MOUDOUNI Said Mohammed	Urologie
BOUSKRAOUI Mohammed	Pédiatrie A	MOUTAOUAKIL Abdeljalil	Ophtalmologie
CHABAA Laila	Biochimie	NAJEB Youssef	Traumato- orthopédie
CHELLAK Saliha	Biochimie-chimie	OULAD SAIAD Mohamed	Chirurgie pédiatrique

CHOULLI Mohamed Khaled	Neuro pharmacologie	RAJI Abdelaziz	Oto-rhino-laryngologie
DAHAMI Zakaria	Urologie	SAIDI Halim	Traumato- orthopédie
EL FEZZAZI Redouane	Chirurgie pédiatrique	SAMKAOUI Mohamed Abdenasser	Anesthésie- réanimation
EL HATTAOUI Mustapha	Cardiologie	SARF Ismail	Urologie
ELFIKRI Abdelghani	Radiologie	SBIHI Mohamed	Pédiatrie B
ESSAADOUNI Lamiaa	Médecine interne	SOUMMANI Abderraouf	Gynécologie- obstétrique A/B
ETTALBI Saloua	Chirurgie réparatrice et plastique	YOUNOUS Said	Anesthésie- réanimation
FIKRY Tarik	Traumato- orthopédie A		

Professeurs Agrégés

Nom et Prénom	Spécialité	Nom et Prénom	Spécialité
ABKARI Imad	Traumato-orthopédie B	EL OMRANI Abdelhamid	Radiothérapie
ABOU EL HASSAN Taoufik	Anesthésie-réanimation	FADILI Wafaa	Néphrologie
ABOUCHADI Abdeljalil	Stomatologie et chirmaxillo faciale	FAKHIR Bouchra	Gynécologie- obstétrique A
ABOUSSAIR Nisrine	Génétique	FOURAIJI Karima	Chirurgie pédiatrique B
ADALI Imane	Psychiatrie	HACHIMI Abdelhamid	Réanimation médicale
ADERDOUR Lahcen	Oto- rhino- laryngologie	HAJJI Ibtissam	Ophtalmologie
ADMOU Brahim	Immunologie	HAOUACH Khalil	Hématologie biologique
AGHOUTANE El Mouhtadi	Chirurgie pédiatrique A	HAROU Karam	Gynécologie- obstétrique B
AIT AMEUR Mustapha	Hématologie Biologique	HOCAR Ouafa	Dermatologie
AIT BENKADDOUR Yassir	Gynécologie- obstétrique A	JALAL Hicham	Radiologie
AIT ESSI Fouad	Traumato-orthopédie B	KAMILI El Ouafi El Aouni	Chirurgie pédiatrique B
ALAOUI Mustapha	Chirurgie- vasculaire périphérique	KHALLOUKI Mohammed	Anesthésie- réanimation
AMINE Mohamed	Epidémiologie- clinique	KHOUCHANI Mouna	Radiothérapie
AMRO Lamyae	Pneumo-phtisiologie	KOULALI IDRISI Khalid	Traumato- orthopédie
ANIBA Khalid	Neurochirurgie	KRIET Mohamed	Ophtalmologie

ARSALANE Lamiae	Microbiologie -Virologie	LAGHMARI Mehdi	Neurochirurgie
BAHA ALI Tarik	Ophtalmologie	LAKMICHI Mohamed Amine	Urologie
BASRAOUI Dounia	Radiologie	LAOUAD Inass	Néphrologie
BASSIR Ahlam	Gynécologie- obstétrique A	LOUHAB Nisrine	Neurologie
BELKHOUE Ahlam	Rhumatologie	MADHAR Si Mohamed	Traumato-orthopédie A
BEN DRISS Laila	Cardiologie	MANOUDI Fatiha	Psychiatrie
BENCHAMKHA Yassine	Chirurgieréparatrice et plastique	MAOULAININE FadlMrabihrabou	Pédiatrie
BENHIMA Mohamed Amine	Traumatologie - orthopédie B	MATRANE Aboubakr	Médecine nucléaire
BENJILALI Laila	Médecine interne	MEJDANE Abdelhadi	Chirurgie Générale
BENZAROUEL Dounia	Cardiologie	MOUAFFAK Youssef	Anesthésie - réanimation
BOUCHENTOUF Rachid	Pneumo-phtisiologie	MOUFID Kamal	Urologie
BOUKHANNI Lahcen	Gynécologie- obstétrique B	MSOUGGAR Yassine	Chirurgie thoracique
BOUKHIRA Abderrahman	Toxicologie	NARJISS Youssef	Chirurgiegénérale
BOURRAHOUE Aicha	Pédiatrie B	NEJMI Hicham	Anesthésie- réanimation
BOURROUS Monir	Pédiatrie A	NOURI Hassan	Oto rhino laryngologie
BSISS Mohamed Aziz	Biophysique	OUALI IDRISSE Mariem	Radiologie
CHAFIK Rachid	Traumato-orthopédie A	QACIF Hassan	Médecine interne
CHAFIK Aziz	Chirurgiethoracique	QAMOUSS Youssef	Anesthésie-réanimation
CHERIF IDRISSE EL GANOUNI Najat	Radiologie	RABBANI Khalid	Chirurgiegénérale
DRAISS Ghizlane	Pédiatrie	RADA Noureddine	Pédiatrie A
EL BOUCHTI Imane	Rhumatologie	RAIS Hanane	Anatomie pathologique
EL HAOURY Hanane	Traumato-orthopédie A	ROCHDI Youssef	Oto-rhino- laryngologie
EL MGHARI TABIB Ghizlane	Endocrinologie et maladies métaboliques	SAMLANI Zouhour	Gastro- entérologie
EL ADIB Ahmed Rhassane	Anesthésie- réanimation	SORAA Nabila	Microbiologie-virologie
EL ANSARI Nawal	Endocrinologie et maladies métaboliques	TASSI Noura	Maladies infectieuses
EL BARNI Rachid	Chirurgie- générale	TAZI Mohamed Illias	Hématologie- clinique

EL BOUIHI Mohamed	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale	ZAHLANE Kawtar	Microbiologie-virologie
EL HOUDZI Jamila	Pédiatrie B	ZAHLANE Mouna	Médecine interne
EL IDRISSI SLITINE Nadia	Pédiatrie	ZAOUI Sanaa	Pharmacologie
EL KARIMI Saloua	Cardiologie	ZIADI Amra	Anesthésie - réanimation
EL KHAYARI Mina	Réanimation médicale		

Professeurs Assistants

Nom et Prénom	Spécialité	Nom et Prénom	Spécialité
ABIR Badreddine	Stomatologie et Chirurgie maxillo faciale	FAKHRI Anass	Histologie- embryologiecytogénétique
ADALI Nawal	Neurologie	FADIL Naima	Chimie de Coordination Bioorganique
ADARMOUCH Latifa	Médecine Communautaire (médecine préventive, santé publique et hygiène)	GHAZI Miriame	Rhumatologie
AISSAOUI Younes	Anesthésie - réanimation	HAZMIRI Fatima Ezzahra	Histologie – Embryologie - Cytogénétique
AIT BATAHAR Salma	Pneumo- phthisiologie	IEHBIBANE fatima	Maladies Infectieuses
ALJ Soumaya	Radiologie	KADDOURI Said	Médecine interne
ARABI Hafid	Médecine physique et réadaptation fonctionnelle	LAFFINTI Mahmoud Amine	Psychiatrie
ATMANE El Mehdi	Radiologie	LAHKIM Mohammed	Chirurgie générale
BAIZRI Hicham	Endocrinologie et maladies métaboliques	LAKOUICHMI Mohammed	Stomatologie et Chirurgie maxillo faciale
BELBACHIR Anass	Anatomie- pathologique	LOQMAN Souad	Microbiologie et toxicologie environnementale
BELBARAKA Rhizlane	Oncologie médicale	MARGAD Omar	Traumatologie - orthopédie
BELHADJ Ayoub	Anesthésie - Réanimation	MLIHA TOUATI Mohammed	Oto-Rhino - Laryngologie
BENHADDOU Rajaa	Ophthalmologie	MOUHSINE Abdelilah	Radiologie
BENLAI Abdeslam	Psychiatrie	NADOUR Karim	Oto-Rhino - Laryngologie
CHRAA Mohamed	Physiologie	OUBAHA Sofia	Physiologie
DAROUASSI Youssef	Oto-Rhino - Laryngologie	OUERAGLI NABIH Fadoua	Psychiatrie
DIFFAA Azeddine	Gastro-entérologie	SAJIAI Hafsa	Pneumo-phthisiologie

EL AMRANI MoulayDriss	Anatomie	SALAMA Tarik	Chirurgie pédiatrique
EL HAOUATI Rachid	Chiru Cardio vasculaire	SERGHINI Issam	Anesthésie - Réanimation
EL HARRECH Youness	Urologie	SERHANE Hind	Pneumo-phtisiologie
EL KAMOUNI Youssef	MicrobiologieVirologi e	TOURABI Khalid	Chirurgieréparatrice et plastique
EL KHADER Ahmed	Chirurgiegénérale	ZARROUKI Youssef	Anesthésie - Réanimation
EL MEZOUARI El Moustafa	Parasitologie Mycologie	ZIDANE MoulayAbdelfettah	ChirurgieThoracique

DEDICACES

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut... ✍

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour,

le respect, la reconnaissance... ✍

Aussi, c'est tout simplement que... ✍



Je dédie cette thèse

A mon cher père,

*La réussite de vos enfants et leur éducation a été votre principal souci.
Vous avez fait tellement d'effort pour y parvenir et vous nous avez mis
dans de bonnes conditions.*

Pour tous les sacrifices consentis, ce travail vous est entièrement dédié.

A ma chère mère,

*Le moment est venu de vous rendre hommage, de vous témoigner mon
affection et ma profonde reconnaissance. Vous étiez toujours présente
pour nous, toujours prête à nous aider, vous nous avez comblés de
bonheur.*

*Je vous dédie ce travail en témoignage de mon amour et de mon
attachement.*

Puisse DIEU t'accorder longue vie et bonne santé.

A ma chère sœur Soukayna,

*Pour votre foi en moi, votre soutien, votre amour, votre aide et votre
présence à mes côtés dans les moments difficiles de ma vie et votre
encouragement dans cette voie.*

A mes chers amis,

*Soukaína jiddi: pour tout le soutien que vous m'avez apporté durant
toutes ces années et pour être ma meilleure amie, j'ai tellement de chance
de vous avoir.*

A Ramia benhamou : merci pour ton amitié , pour les bons moments qu'on a passé ensemble , pour votre soutien et votre serviabilité .

*A Fatiha bellouhou , Hind abou el houda , Raja bouda , Yassine el ghani , hassan abou razzek, Zakaria ramzi , Mouna chafai , Soukaina sellami ,
Intissar ait ouakrouch, Akram touiti :
en témoignage de la grande amitié qui nous réunit.*

*A Dr mohammed errhaimini :
Votre aide était tellement précieuse pour accomplir ce travail que je ne saurais vous remercier assez.*

*Et tous les autres que j'ai omis de citer...
Je vous apprécie énormément. En souvenir des moments agréables passés ensemble, veuillez trouver dans ce travail l'expression de ma tendre affection et mes sentiments les plus respectueux avec mes vœux de succès, de bonheur et de bonne santé.*



REMERCIEMENTS

*A notre maître et rapporteur de thèse : Pr. T. Fikry, chef de service de
Traumatologie Orthopédie, hôpital IbnTofaïl*

*Vous nous avez fait un grand honneur en nous confiant ce travail
intéressant.*

*Nous avons eu le grand plaisir de travailler sous votre direction et nous
vous remercions pour la gentillesse et la spontanéité avec lesquelles vous
avez bien voulu diriger ce travail.*

*Votre compétence, votre dynamisme, votre rigueur et vos qualités
humaines et professionnelles ont suscité en nous une grande admiration
et un profond respect.*

*Nous voudrions être dignes de la confiance que vous nous avez accordée
et nous vous prions, cher Maître, de trouver ici le témoignage de notre
sincère reconnaissance et profonde gratitude et nous vous souhaitons un
très bon rétablissement.*

A notre maître et président de thèse, Pr. N. EL MANSOURI

Chef de service de Chirurgie maxillofaciale

*C'est un honneur et un immense plaisir que vous nous faites en acceptant
de présider ce jury.*

*Nous vous exprimons notre profonde admiration pour la sympathie et la
modestie qui émanent de votre personne.*

*Veillez trouver ici l'expression de ma sincère reconnaissance et de mon
plus profond respect.*

*Que ce travail soit le témoin de notre sincère reconnaissance et de notre
profonde estime.*

A notre maître et juge de thèse, Pr. H. EL HAOURY

Professeur agrégée de Traumato-orthopédie

Nous vous remercions d'avoir voulu répondre à notre souhait de vous avoir parmi nos membres de jury. Votre rigueur scientifique, vos grandes qualités humaines font de vous un exemple pour nous. Veuillez trouver, cher maître, dans ce travail l'expression de notre reconnaissance et de notre profond respect.

A notre maître et juge de thèse Pr. R. CHAFIK

Professeur agrégé de Traumato-orthopédie

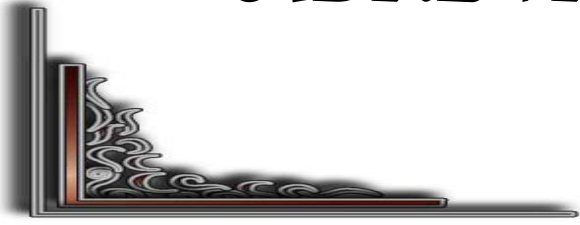
Votre présence au sein de notre jury constitue pour moi un grand honneur. Par votre modestie, vous m'avez montré la signification morale de notre profession.

Qu'il me soit permis de vous présenter à travers ce travail le témoignage de mon grand respect et l'expression de ma profonde reconnaissance. Et nous tenons de vous remercier Professeur de bien vouloir accepter de remplacer notre maître professeur FIKRY qui pour de raisons de santé ne pourra pas assister à la thèse.

A notre maître et juge de thèse, Pr. M. MADHAR

Professeur agrégé de Traumato-orthopédie

Vous avez accepté avec grande amabilité de juger ce travail. Cet honneur nous touche infiniment et nous tenons à vous exprimer, cher maître, nos sincères remerciements et notre profonde reconnaissance.



ABBREVIATIONS

LISTE DES ABREVIATIONS

AOC	: arthrodèse des os du carpe
AVP	: accident de la voie publique
CARC	: complexe articulaire radio–carpien
CL	: capito–lunaire
DISI	: dorsal intercalated segment instability (instabilité dorsale du segment intercalaire)
IC	: intervalle de confiance
IR	: inclinaison radiale
IU	: inclinaison ulnaire
LAAC	: ligament annulaire antérieur du carpe
LADC	: ligament annulaire dorsal du carpe
LT	: luno–triquètrum
MC	: médio–carpienne
R	: axe de référence
RC	: radio–carpienne
RCI	: radio–cubitale inférieure
RCS	: radio–cubitale supérieure
ROM	: Range of motion (amplitude de mouvement)
RPRC	: Résection de la première rangée du carpe
RR	: risque relatif
RS	: radio–scaphoïde
SC	: scapho–capitatum
SNAC	: scaphoid nonunion advanced collapse
SLAC	: scapholunate advanced collapse
SL	: scapho–lunaire
ST	: scapho–triquétral
STT	: scapho–trapézo–trapézoïdien
TFCC	: triangular fibrocartilage complex (complexe triangulaire du poignet)
TH	: triquéro–Hamatum
VISI	: ventral intercalated segment instability (instabilité ventrale du segment intercalaire)

PLAN



INTRODUCTION	1
MATERIELS ET METHODES	3
I. Nature de l'étude :	4
II. Population cible :	4
Les critères d'inclusion :	4
Les critères d'exclusion:	4
III. Méthodes de travail :	4
1. Le cercle osculateur :	7
2. Rayon de courbure :	8
3. Centre de courbure :	8
4. Analyse mathématique:	9
IV. Matériel :	9
RESULTATS	19
I. Epidémiologie :	20
1. Age :	20
2. Sexe :	20
3. Origine géographique:	21
4. Motif d'hospitalisation :	22
II. Etude géométrique:	22
DISCUSSION	24
I. Rappel anatomique:	25
1. Modèle original et découverte :	25
2. Anatomie descriptive du complexe radio-carpien:	28
3. Les ligaments du poignet et du carpe:	32
4. Les chaines ligamentaires	37
5. Les ligaments annulaires:	39
6. Facteurs de stabilité du poignet :	41
7. Anatomie fonctionnelle du complexe radiocarpien :	44
II. RAPPEL RADIOLOGIQUE	47
1. Incidences du poignet :	47
III. Rappel biomécanique:	60
1. Introduction	60
2. Comportement mécanique général des ligaments	70
3. Etudes biomécaniques dans la littérature :	71
IV. Etude géométrique:	77
1. Représentation géométrique du carpe	77
2. Géométrie des surfaces articulaires	79
3. Etudes géométriques dans la littérature :	79
4. Notre étude géométrique :	83
5. Limites de l'étude géométrique par radiographie standard :	84
6. Notre étude par logiciel de mesure mathématique:	86

7. L'étude géométrique par tomodensitométrie:.....	87
V. Applications thérapeutiques:.....	97
1. Etudes de comparaison biomécanique:.....	97
2. Etudes de comparaison clinique:.....	105
3. Notre étude géométrique:.....	112
 CONCLUSION.....	 114
 RÉSUMÉS.....	 116
 BIBLIOGRAPHIE.....	 120



INTRODUCTION

Le maintien d'une bonne congruence entre le radius et les os du carpe permet une bonne répartition des contraintes articulaires et réduirait théoriquement le risque d'arthrose.

Dans cette étude de recherche clinique, nous nous proposons de comparer géométriquement les surfaces supérieures du lunatum et du capitatum.

Cette étude est passée par la mesure des rayons de courbures de face et de profil des facettes supérieures du lunatum et du capitatum.

Les sommets de ces courbures pourront être assimilés à des parties de cercles qui épousent le mieux possible ces courbures. Ces courbures homogènes ou régulières, appelées cercles osculateurs reproduisent donc le plus fidèlement le comportement d'une courbure en son sommet.

Le but de cette étude est de déterminer les influences thérapeutiques de cette analyse.

MATERIELS

ET

METHODES

I. Nature de l'étude :

C'est une étude prospective, monocentrique réalisée au service de traumatologie A du centre hospitalier universitaire Mohammed VI de Marrakech, sur une période de deux ans, où nous analysons des radiographies standards de poignets normaux de personnes adultes. Il s'agissait respectivement de 111 clichés bien centrés de face (série A) et de 111 clichés de profils (série B).

II. Population cible :

Les patients ont été sélectionnés selon les critères d'inclusion et d'exclusion suivants:

1. Les critères d'inclusion :

Tout patient jeune âgé entre 20 et 50 ans admis au service de traumatologie A pour motif d'hospitalisation quel que soit avec poignet intact.

2. Les critères d'exclusion:

Ont été exclus de notre étude tout patient avec poignet post traumatique, ou atteint de pathologie rhumatismale ou infectieuse, enfant, ou sujet âgé.

III. Méthodes de travail :

Il s'agit d'une étude géométrique où nous avons dessiné les cercles osculateurs des sommets supérieurs du lunatum et du capitatum, puis nous avons mesuré les rayons de courbures relatifs.

En géométrie, un rayon d'un cercle ou d'une sphère est un segment de droite quelconque reliant son centre à sa circonférence. Par extension, le rayon d'un cercle ou d'une sphère est la longueur de chacun de ces segments. Le rayon est la moitié du diamètre (figure1).

La relation entre le rayon r et la circonférence c d'un cercle est :

$$r = \frac{c}{2\pi}.$$

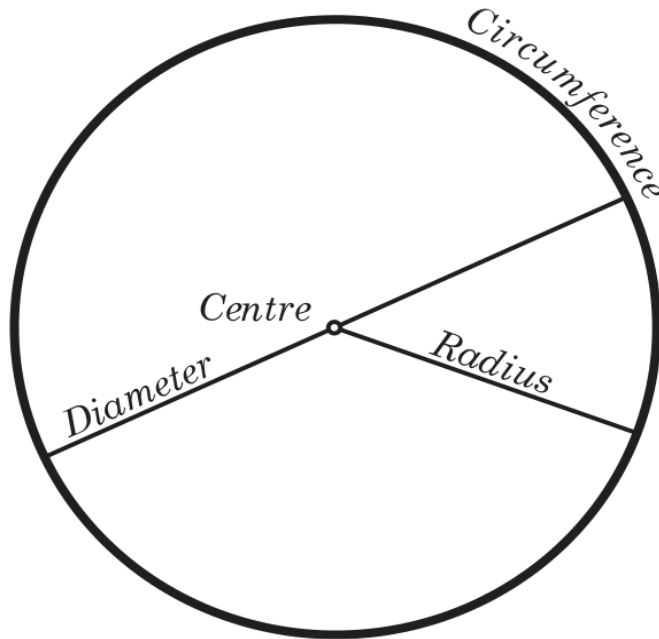


Figure 1 : Rayon, diamètre, circonférence, cercle.

Pour calculer le rayon R d'un cercle passant par trois points A, B, C , la formule suivante peut être utilisée (figure2):

$$R = \frac{a}{2 \sin \alpha},$$

Où a est la longueur du côté $[B, C]$ et α est l'angle $\sphericalangle BAC$.

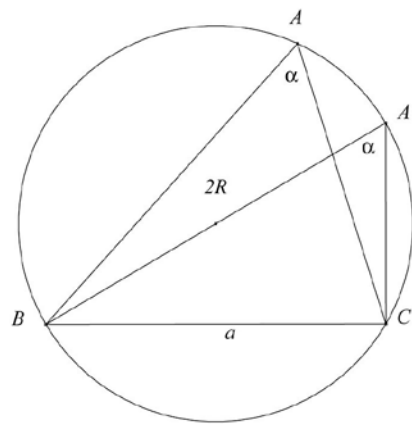


Figure 2 : calcul du rayon d'un cercle dessiné à partir de 3 points.

Sur une courbe, et si on prend un point M sur cette courbe. Et on trace la normale à cette courbe, et on prend un point O sur la normale. Alors, le cercle de centre O passant par M est tangent à la courbe. Mais tous les cercles tangents à la courbe ne sont pas tangents de la même façon. En effet, si O est proche de M, le cercle va se situer plutôt "à l'intérieur de la courbe". Si O est loin de M, le cercle sera plutôt "à l'extérieur de la courbe". Le rayon limite entre être "à l'intérieur de la courbe" et être "à l'extérieur de la courbe" s'appelle le **rayon de courbure** de la courbe au point M. Le cercle correspondant se nomme le **cercle osculateur**. (Figure 3)

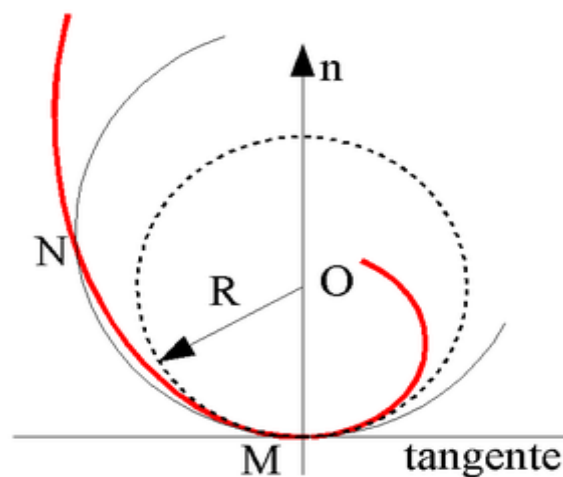


Figure 3: Cercle osculateur

Au point M de la courbe rouge, le cercle osculateur (en pointillés) approche mieux la courbe qu'un cercle tangent quelconque (passant par N). Son centre O et son rayon R sont le centre de courbure et le rayon de courbure de la courbe en M.

1. Le cercle osculateur :

Le cercle osculateur ou cercle de courbure en un point d'une courbe est un cercle permettant la description locale de cette courbe. Parmi les cercles passant par ce point, c'est celui qui « épouse cette courbe le mieux possible », donc mieux qu'un cercle tangent quelconque, d'où le nom de cercle osculateur. Le centre de ce cercle est appelé centre de courbure de la courbe au point M . Et son rayon, le rayon de courbure . (Figure 3;4)

Il est possible de définir le cercle de courbure à partir de la courbure et des éléments du repère de Frenet, ou au contraire de donner une définition géométrique du cercle de courbure, et de définir à partir de lui la courbure.

Défini de façon directe, le cercle de courbure est le cercle le plus proche de la courbe en un point P , c'est l'unique cercle osculateur à la courbe en ce point. Ceci signifie qu'il constitue une très bonne approximation de la courbe, meilleure qu'un cercle tangent quelconque.

Le cercle de courbure en un point P de la courbe a pour rayon l'inverse de la courbure en P , appelé **rayon de courbure**. Il est centré sur la droite normale à la courbe en P , et situé à l'intérieur de la concavité de la courbe (la courbe s'enroule autour de son centre de courbure). La tangente à la courbe en P est donc tangente également au cercle de courbure (figures 4,5).

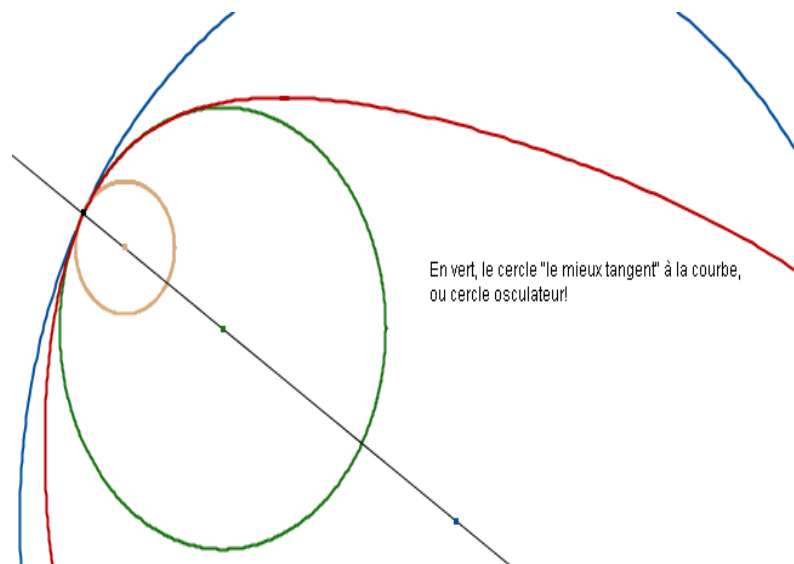


Figure 4: cercle osculateur

2. Rayon de courbure :

Le rayon de courbure d'un tracé, en général noté R (figure 3) indique son niveau d'incurvation : plus le rayon de courbure est élevé, plus le tracé se rapproche d'une ligne droite, et inversement. Mathématiquement, le rayon de courbure est la valeur absolue du rayon du cercle tangent à la courbe au point recherché. Ce cercle est appelé cercle osculateur à la courbe en ce point. Le rayon de courbure est aussi l'inverse de la courbure (γ) (figure 5): $R=1/\gamma$.

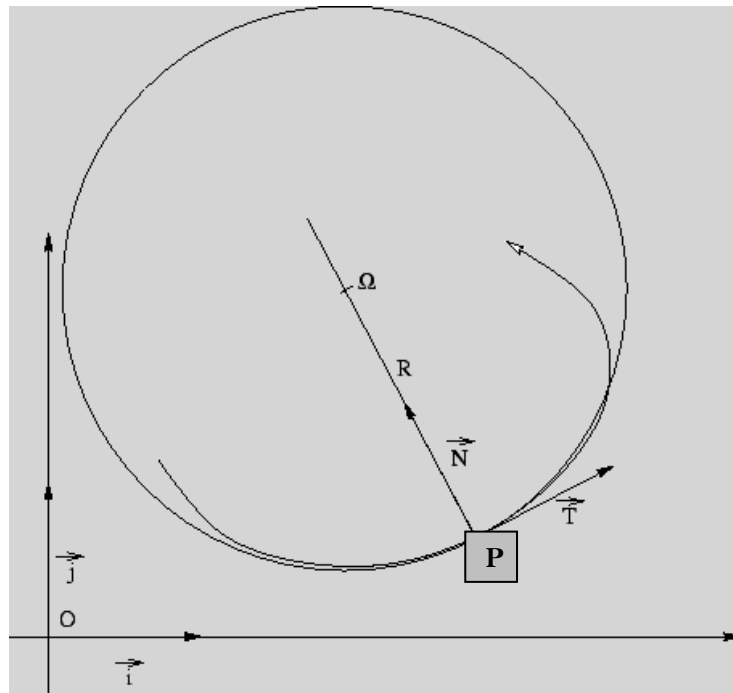


Figure 5: rayon de courbure, centre de courbure, cercle osculateur

3. Centre de courbure :

Le centre de courbure (γ) peut donc être exprimé à partir des éléments du repère de Frénet par la formule suivante :

$$\overrightarrow{P\Omega} = \frac{1}{\gamma} \vec{N}$$

Le centre de courbure en P peut être vu également comme le point d'intersection de la normale en P avec une normale infiniment proche. De ce point de vue, la courbe formée par les centres de courbure successifs, appelée développée de la courbe initiale, est l'enveloppe de la famille des normales à la courbe (figure 5).

4. Analyse mathématique:

Donnons maintenant une définition mathématique précise. On suppose donc que l'on a une courbe paramétrée de classe C^2 . On note s l'abscisse curviligne sur la courbe, $M(s)$ le point d'abscisse s , $\vec{T}(s)$ le vecteur tangent au point d'abscisse s et $\vec{N}(s)$ le vecteur normal. Alors la courbure de la courbe en un point est le réel c tel que:

$$\frac{d\vec{T}}{ds} = c\vec{N}.$$

Le rayon de courbure est lui défini par $R=1/c$. Le cercle osculateur est le cercle dont le centre est le point O , situé sur la normale, est tel que:

$$\vec{MO} = R\vec{N}.$$

Le centre du cercle osculateur s'appelle aussi centre de courbure de la courbe au point $M(s)$.

IV. Matériel :

❖ Logiciel GEOGEBRA :

GeoGebra est un logiciel dynamique de mathématique réunissant géométrie, algèbre et calcul qui permet de manipuler des objets géométriques : cercle, droite et angle de façon visuelle et interactive.

Il associe trois représentations différentes des objets mathématiques :

- une représentation graphique,
- une représentation algébrique,
- et une représentation tableur.

Qui permettent d'afficher les objets mathématiques dans les trois différentes représentations : graphique (par exemple: points, courbes représentatives de fonction), algébrique (par exemple: coordonnées de points, équations), et dans des cellules de tableur. De ce fait, toutes les représentations du même objet sont liées dynamiquement et prennent en compte automatiquement les modifications apportées à n'importe laquelle des représentations, peu importe comment elles ont été créées initialement (figure 6).



Figure 6: logiciel mathématique GeoGebra

❖ Les étapes de mesure :

- On utilisant le logiciel de mathématique Geogebra, on choisi l'icône **algèbre**, puis le logiciel va ouvrir un repère orthogonale orthonormé (o, x, y) (figure 7).

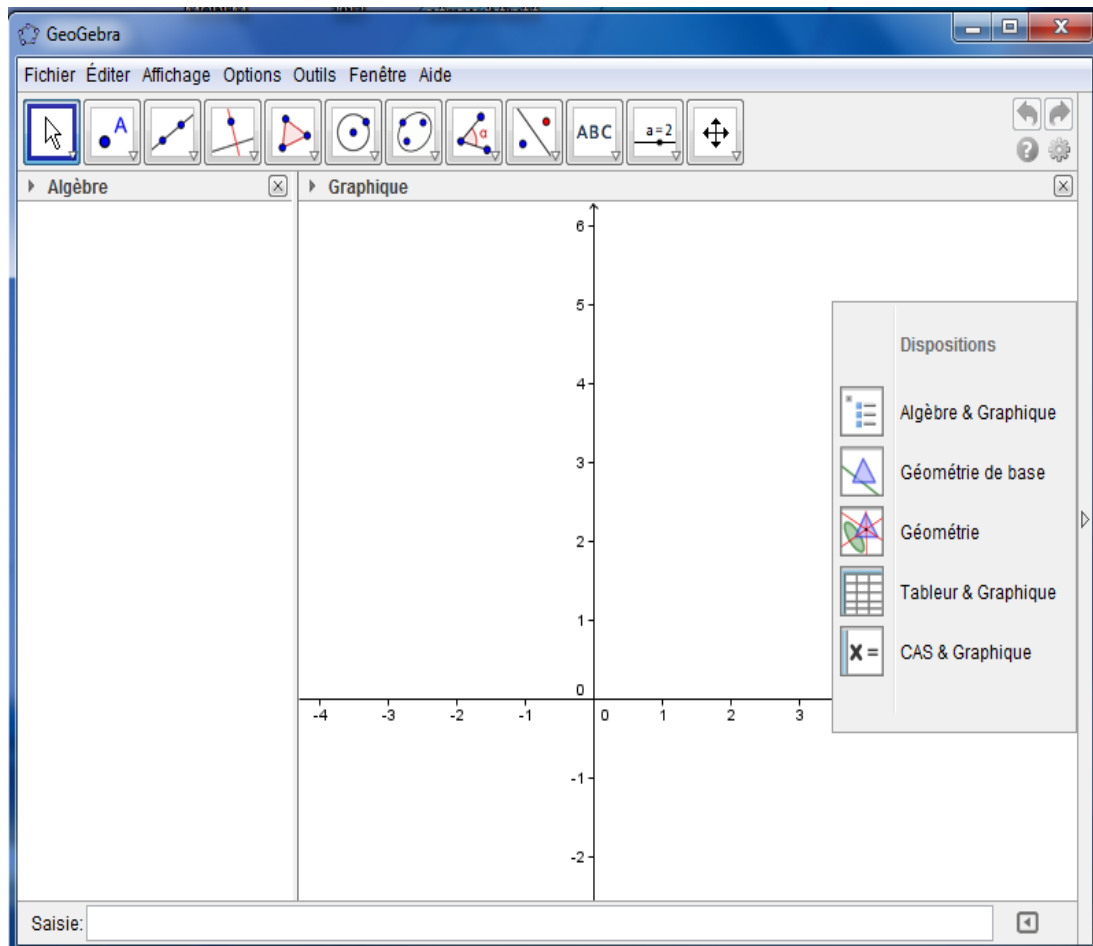


Figure 7: logiciel mathématique GeoGebra:représentation géographique

- Puis on clique sur l'icône **ABC** sur la barre d'outils, puis sur **insérer image** et par la suite on importe une image de radiographie de poignet de face (figure 8).

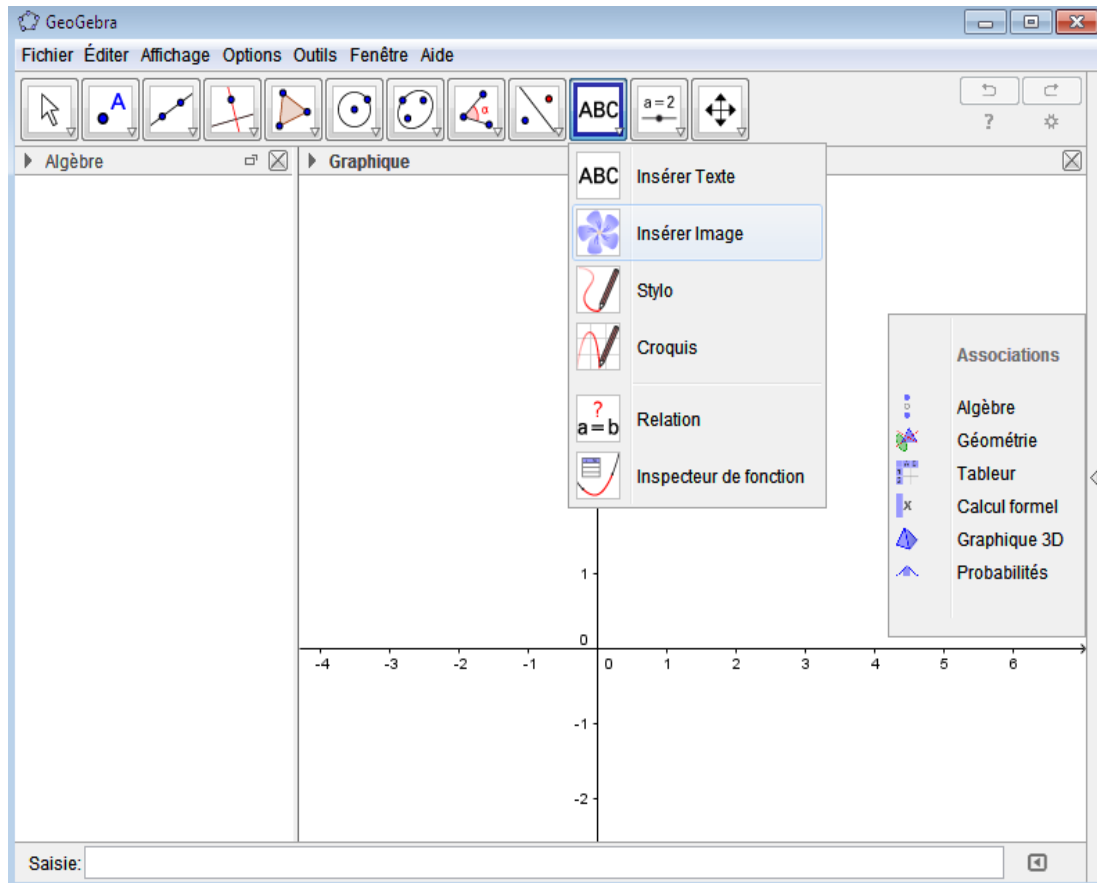


Figure 8: logiciel mathématique GeoGebra; insertion d'image de radiographie de poignet

- On clique sur l'icone **point** au niveau de la barre d'outils, puis on trace 3 points sur la courbure supérieure du lunatum et on les renomme on cliquant sur le coté droit de la souris **renommer point**, point A, B, C (figure 9).
- Pour dessiner un cercle on clique sur l'icone **cercle** puis **cercle passant par 3 points** le logiciel trace un cercle (c) passant par les points A, B, C (**cercle osculateur**)

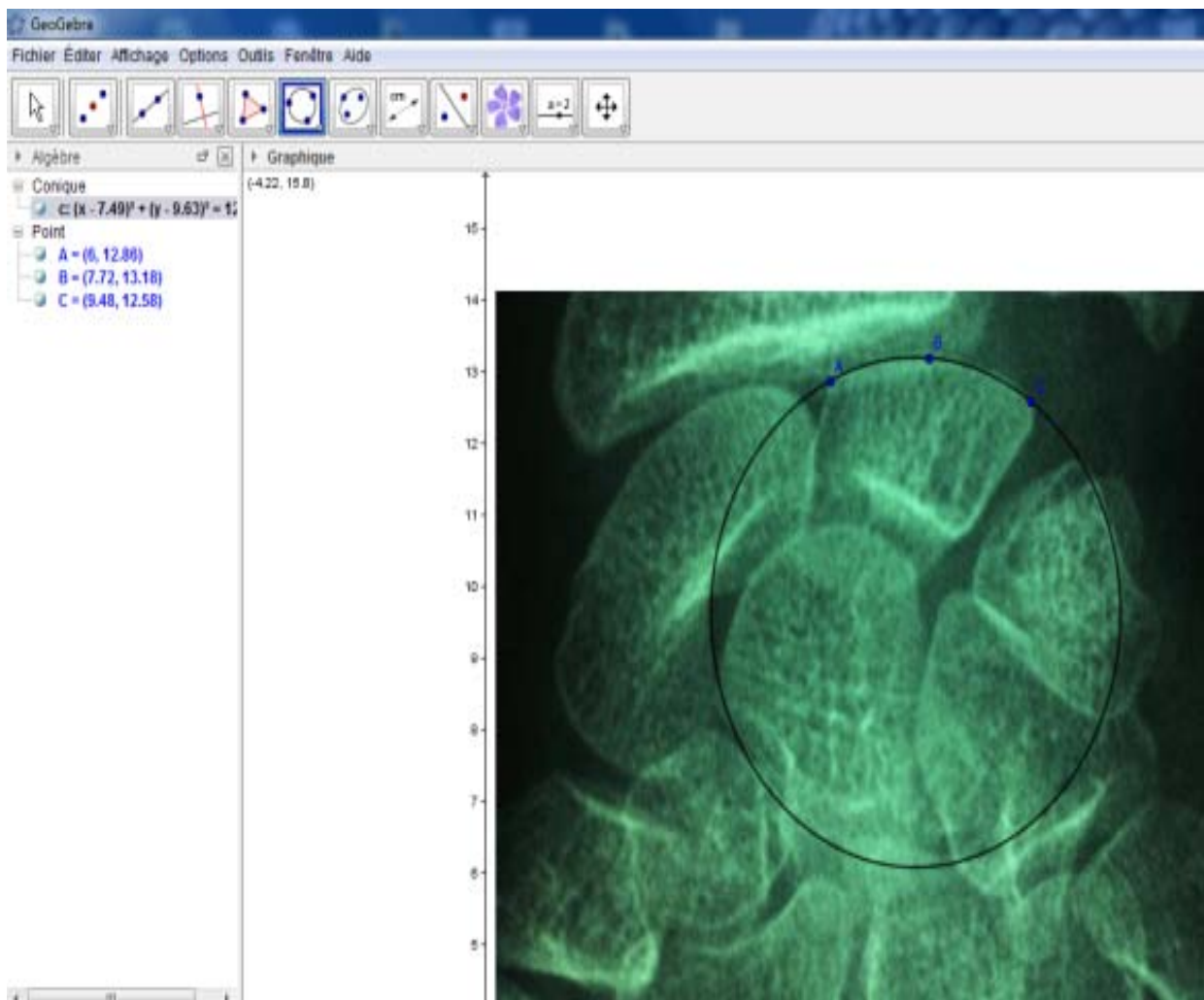


Figure 9: logiciel mathématique GeoGebra; cercle osculateur passant par 3 points de la courbure proximale du lunatum

- Pour tracer le centre du cercle (c), on clique sur l'icône **point** puis **milieu ou centre** et on sélectionne le cercle (c) et le logiciel trace le centre E (**centre de courbure**) (figure 10).

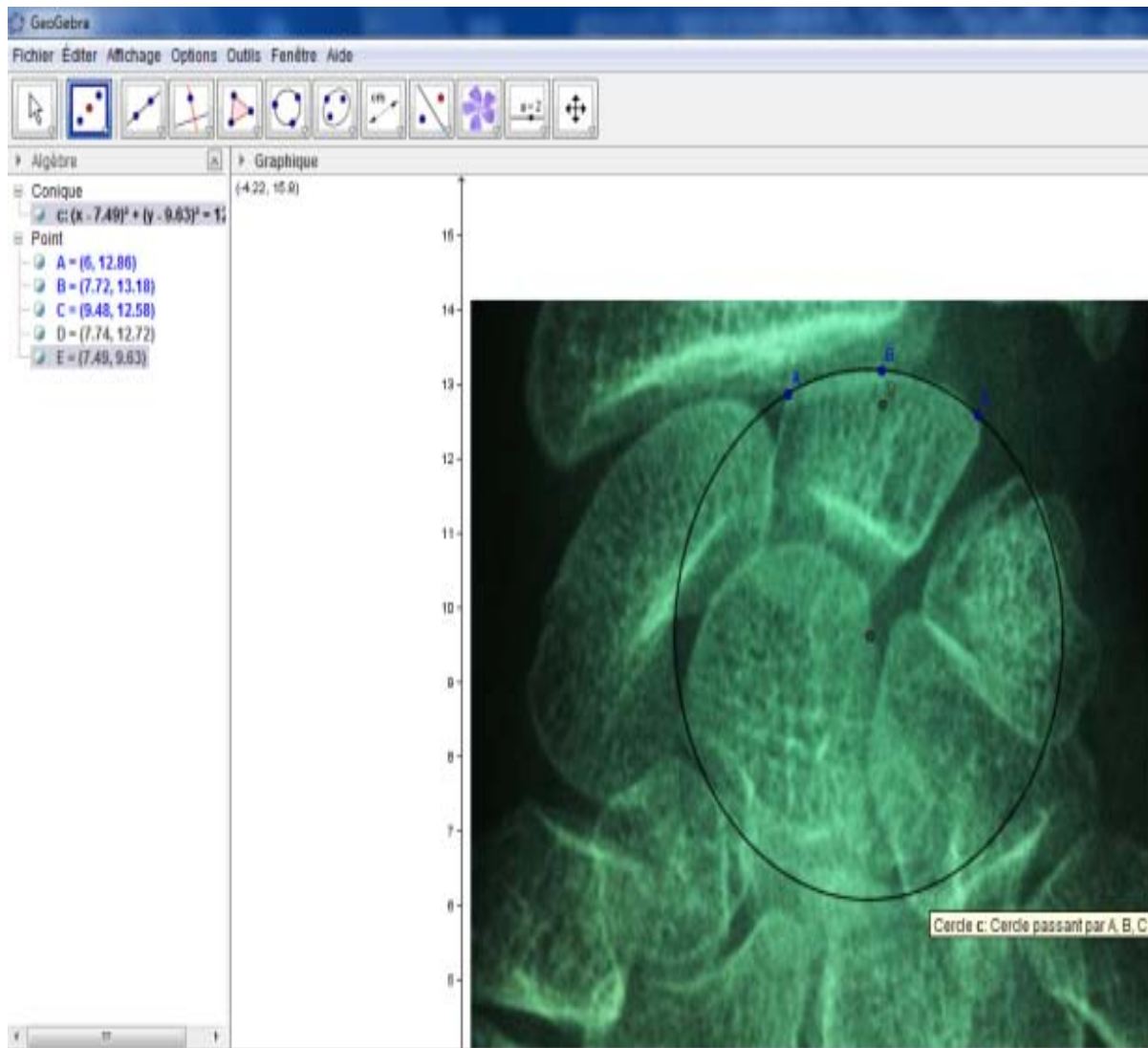


Figure 10: logiciel mathématique GeoGebra: centre de courbure

- Puis on relie le centre E avec un point du cercle on utilisant l'icône **segment** puis le logiciel calcul le **rayon de courbure AE** (figure 11).

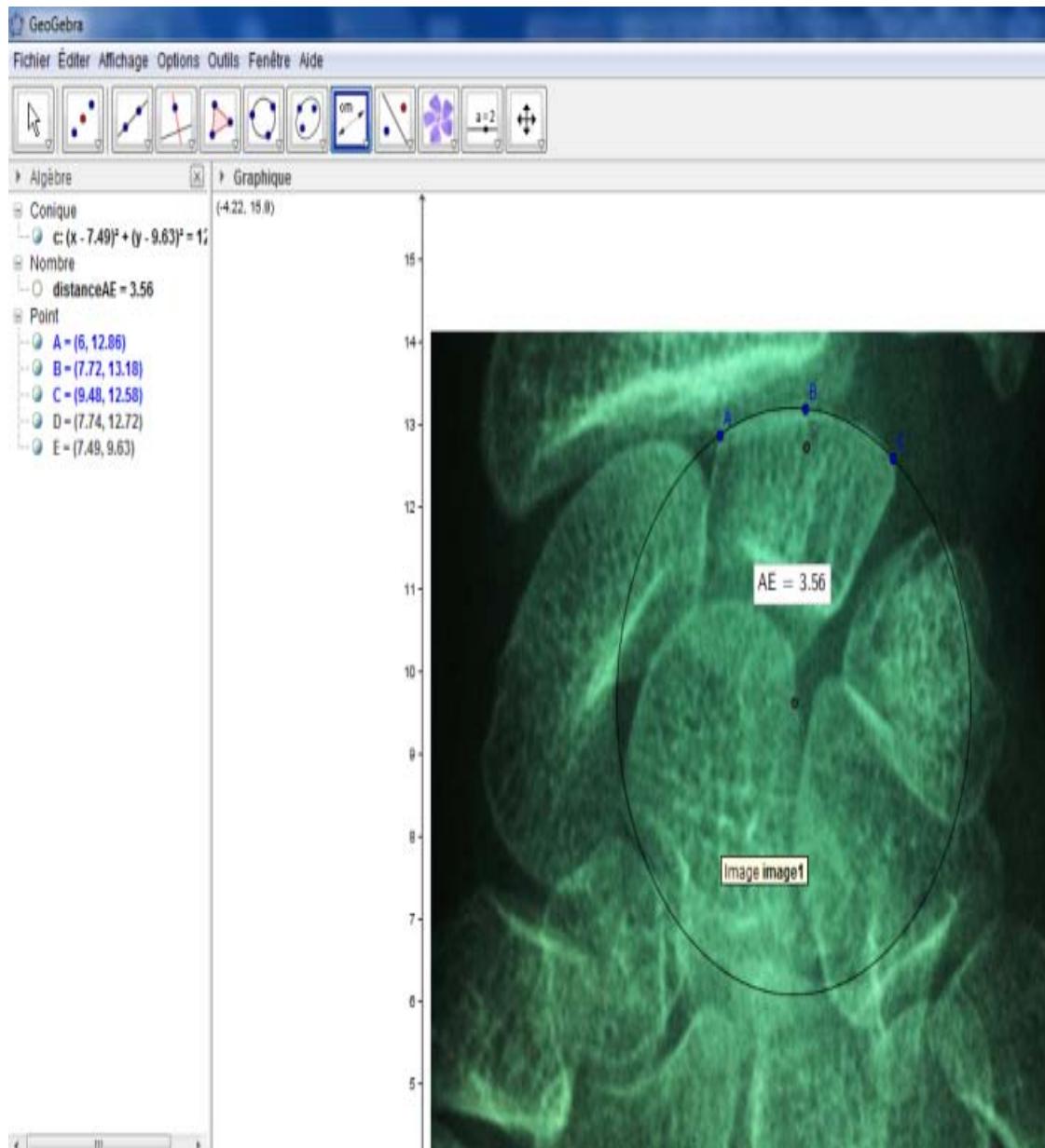


Figure 11: Logiciel mathématique GeoGebra: rayon de courbure

- On suivant les mêmes étapes précédentes on trace un deuxième cercle passant par 3 points situés au niveau de la courbure supérieure du capitatum, et on trace le rayon de courbure entre le centre et un point du cercle (figure 12).

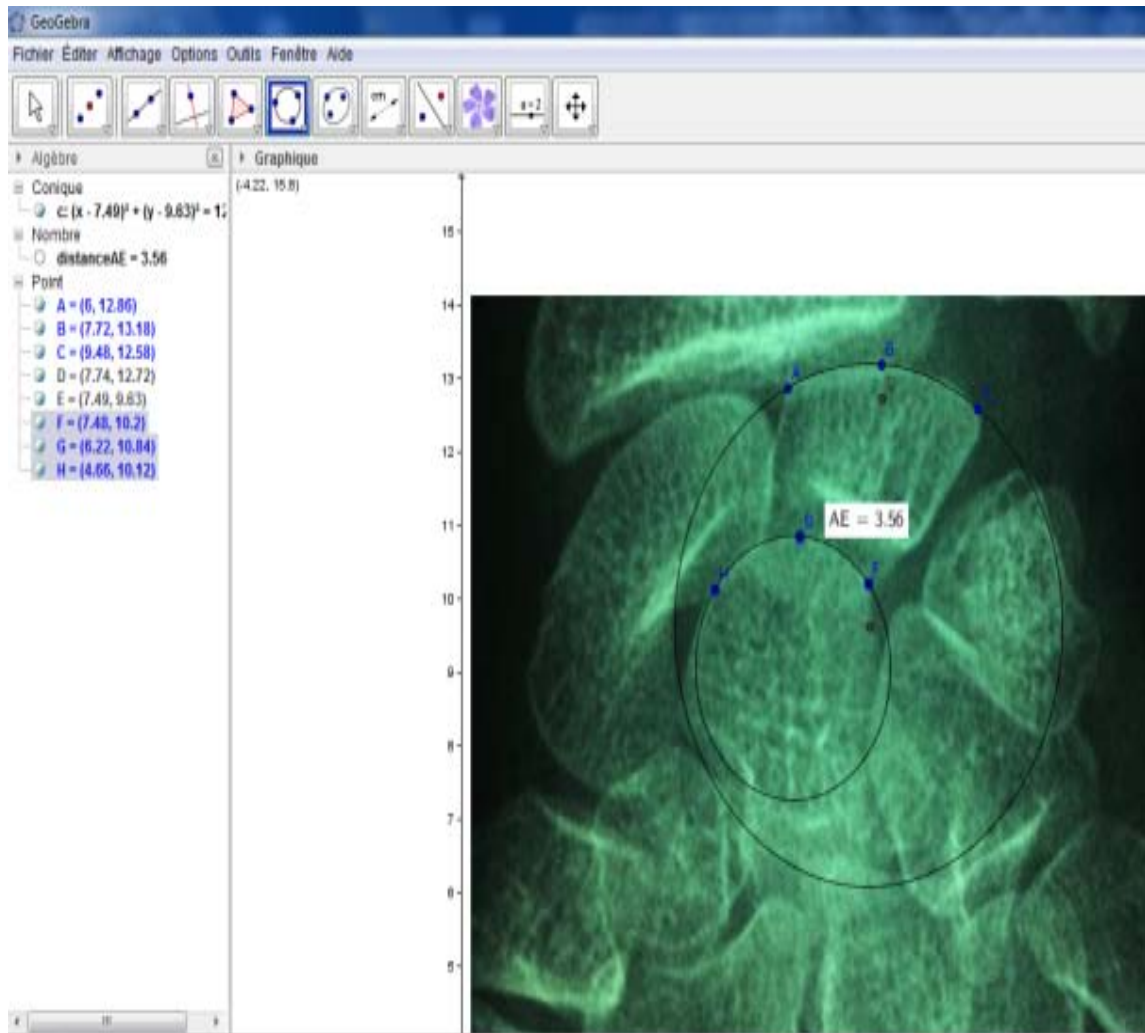


Figure 12: logiciel mathématique GeoGebra: cercle osculateur passant par 3 points de la courbure proximale du capitatum

- Afin d'éliminer tout effet d'agrandissement radiologique, nous avons étudié les rapports des deux rayons mesurés sur la face (figure 13), et ceux mesurés sur le profil (figure 14).

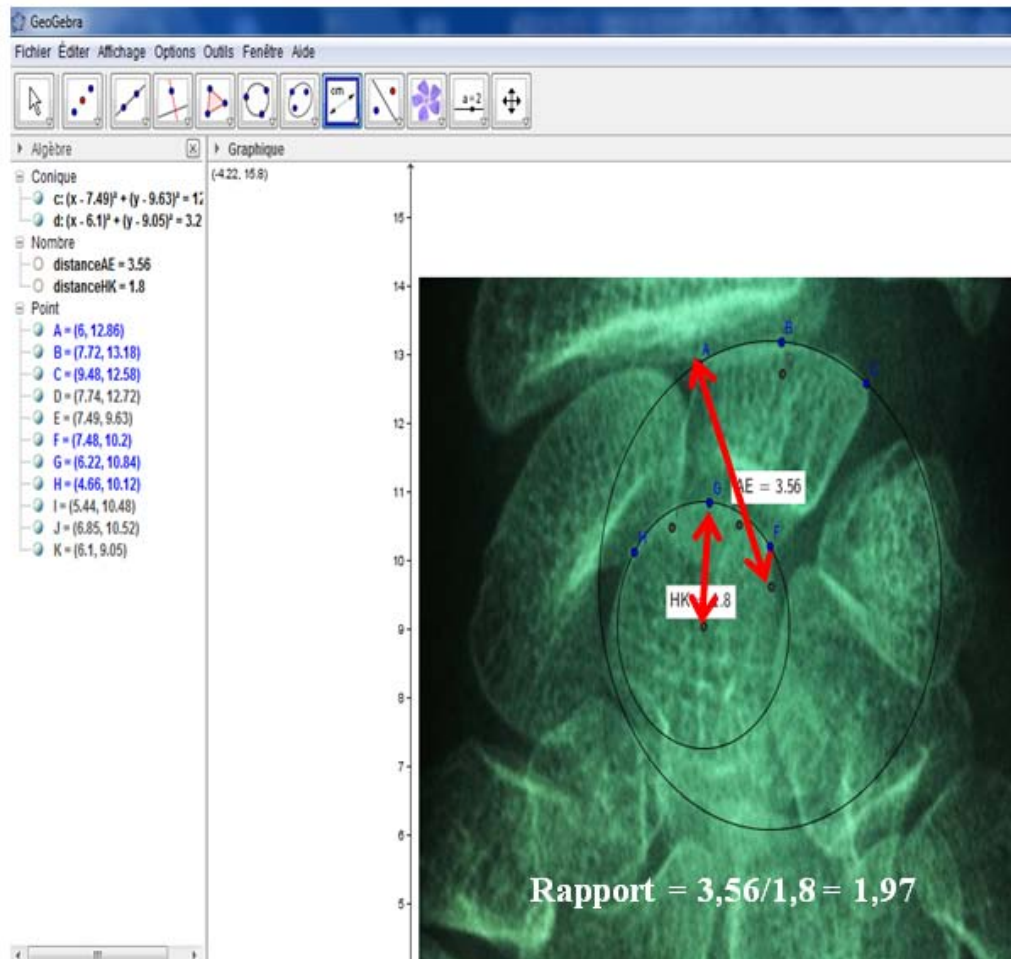


Figure 13: logiciel mathématique GeoGebra; mesure des rapports des rayons de courbures du lunatum et du capitatum de face

La même procédure est utilisée avec les radiographies du poignet de profil, et on calcule les rayons de courbure respectifs du lunatum et du capitatum (figure 14).

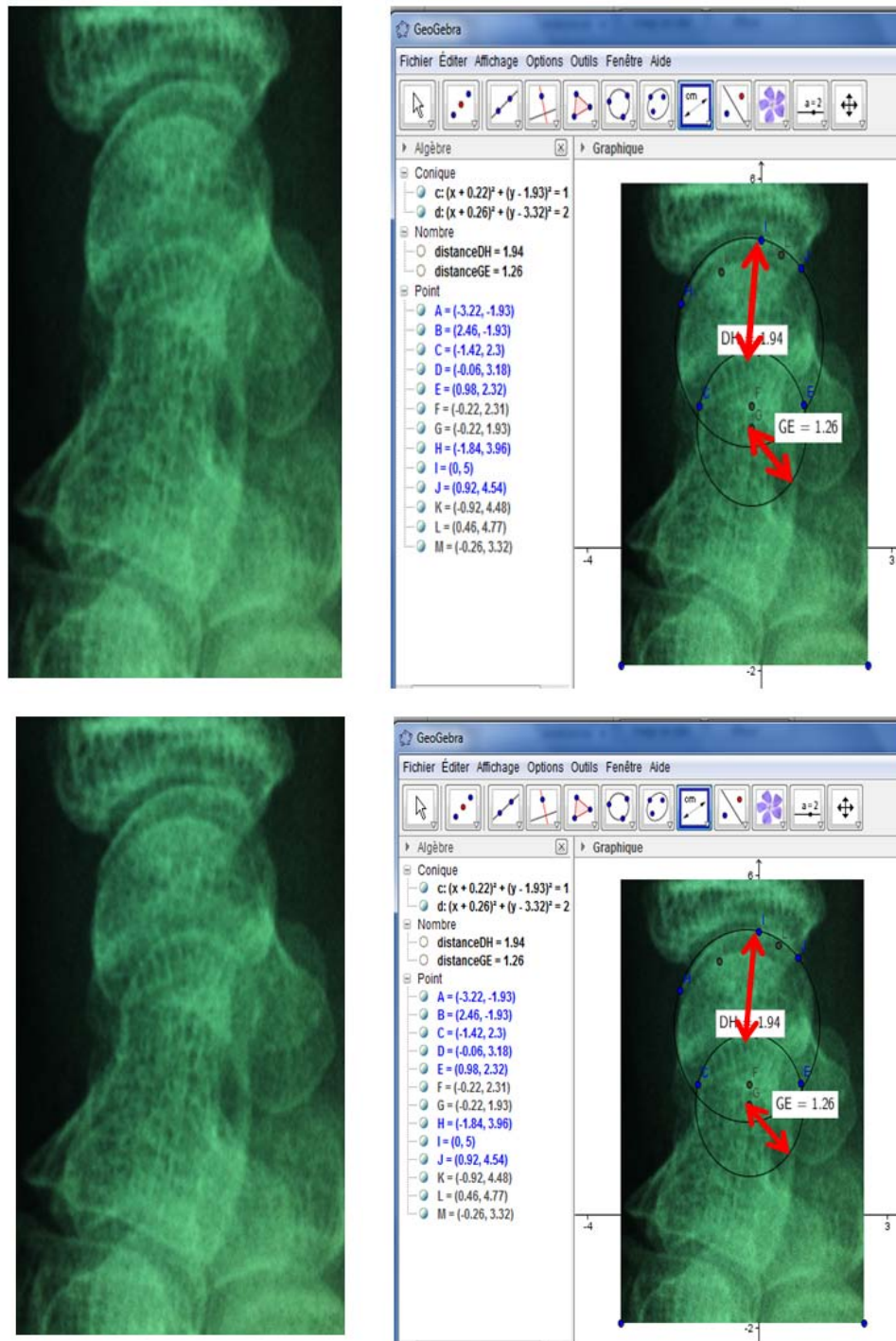


Figure 14: logiciel mathématique GeoGebra; mesure des rapports des rayons de courbures du lunatum et du capitatum de profil

RESULTATS



I. Epidémiologie :

1. Age :

Tous nos patients étaient des sujets jeunes, âgés de 21 à 48 ans, avec une moyenne d'âge de 34 ans (figure 15).

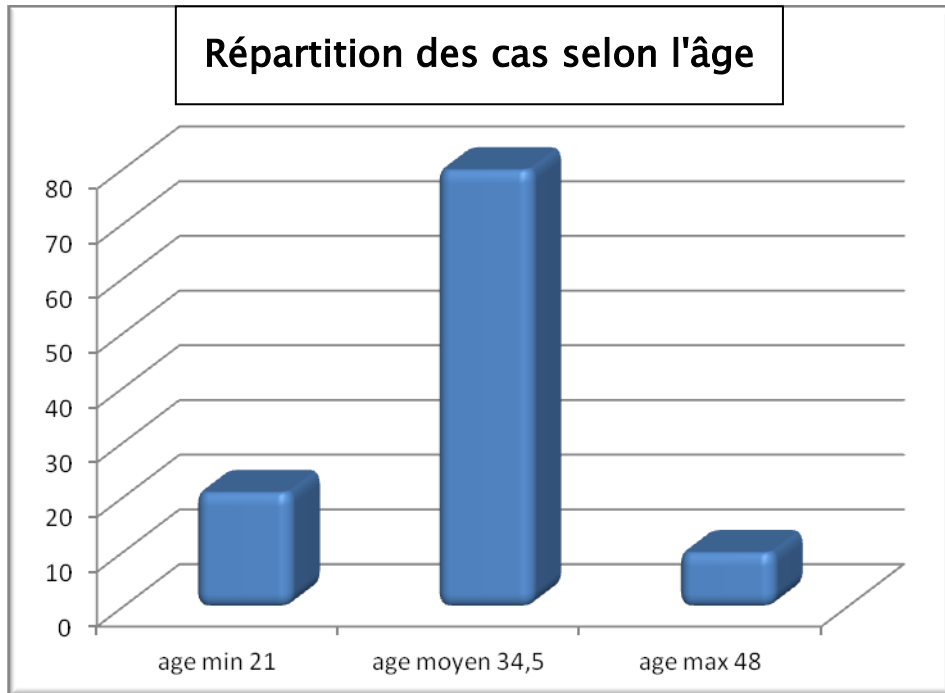


Figure15 : Répartition des cas selon l'âge.

2. Sexe :

Dans notre série, une prédominance masculine a été notée : 84 hommes pour 24 femmes soit respectivement 76 et 27%. (Figure 16).

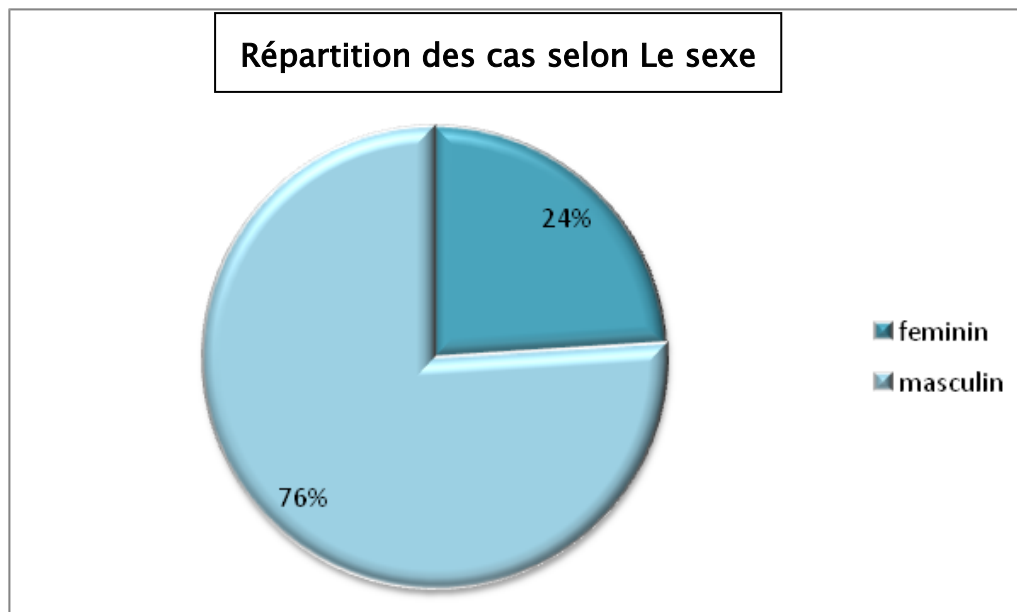


Figure 16: Répartition des cas selon Le sexe.

3. Origine géographique:

La majorité de nos patients étaient d'origine urbaine avec un pourcentage de 85% par rapport à 15% d'origine rurale (figure 17).

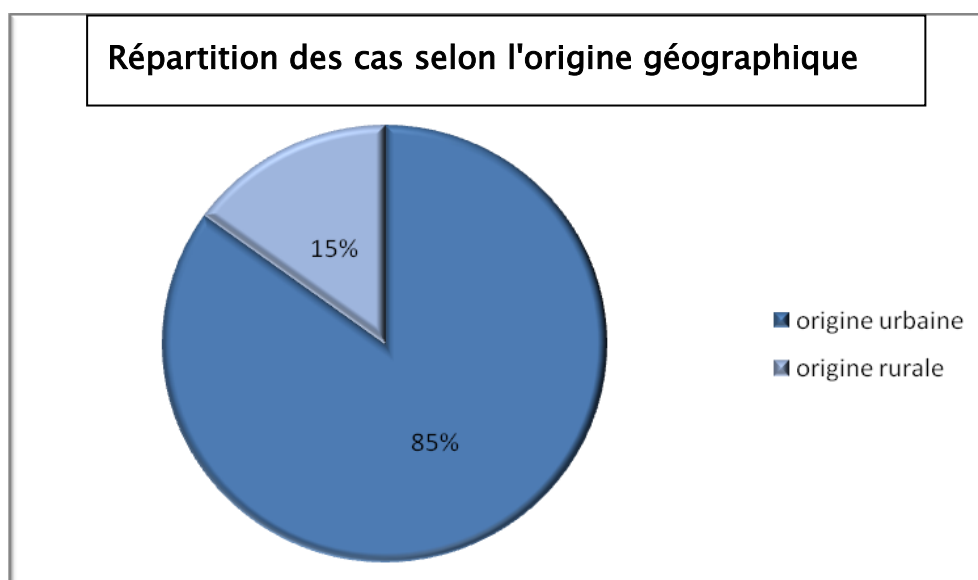


Figure 17: Répartition des cas selon l'origine géographique.

4. Motif d'hospitalisation :

Les motifs d'hospitalisation étaient répartis comme suit :

- 81% des cas étaient victimes d'AVP,
- 10 % des cas étaient victimes d'agressions,
- 8% des cas étaient hospitalisés pour des lésions non traumatiques (Pseudarthrose, Ostéite, Ostéomyélite, Abscess, Tumeurs ...),
- et 1% des cas étaient victimes d'accidents de sport (figure 18).

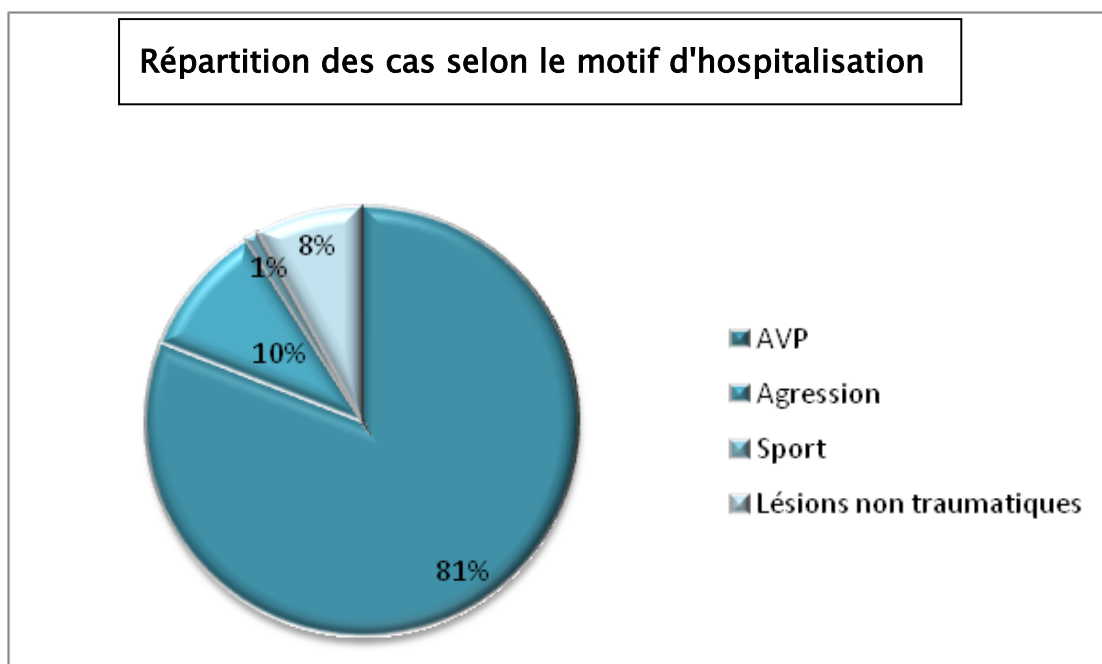


Figure 18: Répartition des cas selon le motif d'hospitalisation.

II. Etude géométrique:

Nous avons calculé à l'aide du logiciel Geogebra les rapports des rayons de courbures du lunatum/capitatum sur les radiographies standards de face et de profil. Pour la série A, la moyenne des rapports des rayons de courbures lunatum/capitatum était de $1,84 \pm 0,5$ avec des extrêmes de 1,08 et 3,96 et un écart-type de 0,095.

Pour la série B, la moyenne des rapports des rayons de courbures lunatum/capitatum était de $1,66 \pm 0,43$ avec des extrêmes de 1,06 et 3,88 et un écart-type de 0,0813 (Tableau I) (figure 19).

Tableau I : Rapport des rayons de courbures du lunatum et capitatum

	Rapport rayon de courbure Lunatum/capitatum	<u>Extrêmes</u>		<u>Ecart-type</u>
Série A 111 cas	1.84+/- 0.5	1.08	3.96	0.0095
Série B 111 cas	1.66 +/- 0.43	1.06	3.88	0.0813

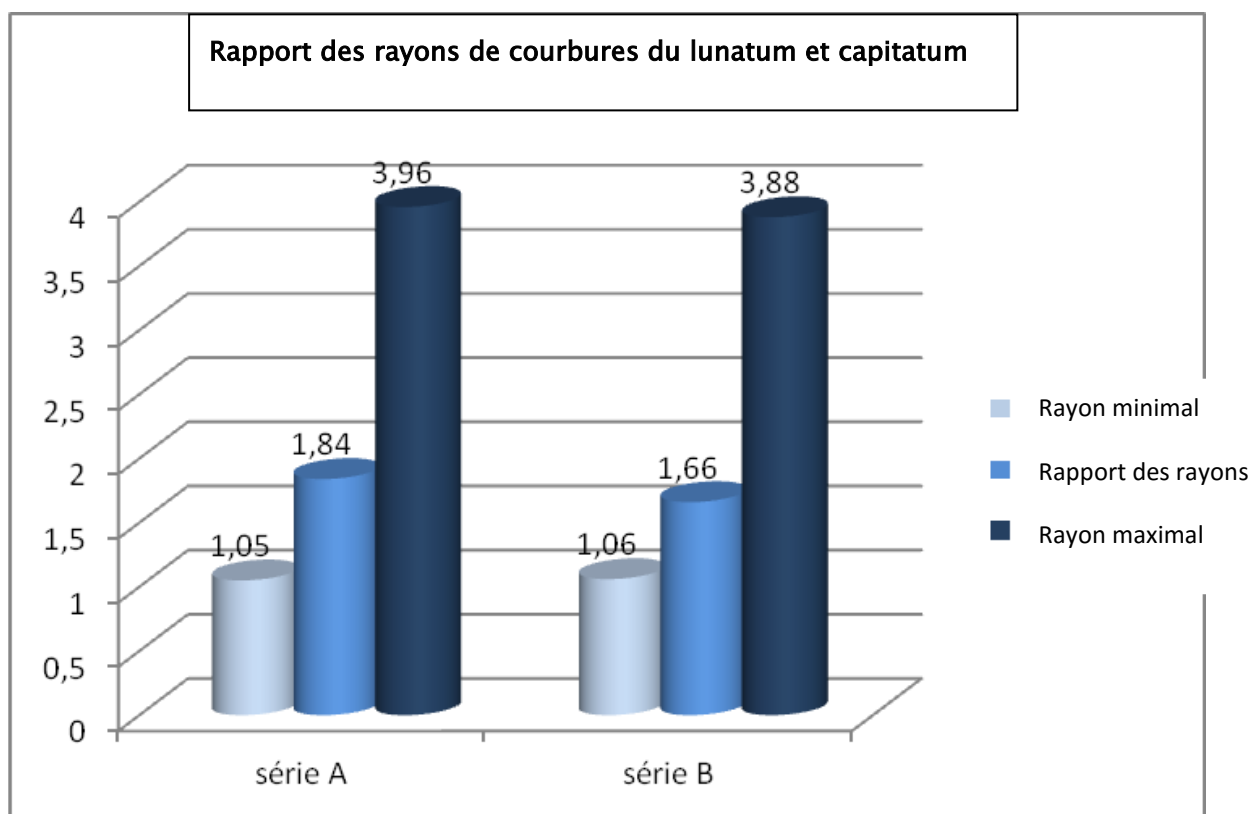


Figure 19: Rapport des rayons de courbures du lunatum et capitatum



DISCUSSION

I. RAPPEL ANATOMIQUE:

1. Modèle original et découverte :

La première description des os du carpe est attribuée à Galien (Figure 20). L'iconographie du carpe, jusqu'au XVI^e siècle, ne montrait, la plupart du temps, qu'une articulation directe des bases métacarpiennes avec l'épiphyse radiale. [1] (Figure 21)

Vesalius [2] représentait le carpe avec ses huit os intercalés entre radius et métacarpiens. Lyserius [3] substitue les noms de premier, deuxième, troisième et quatrième os de la première rangée du carpe par ceux de scaphoïde (naviculaire par Soemmering [4]), lunatum, triquetrum et pisiforme (tour à tour appelé os lenticulaire ou os orbiculaire). L'os cunéiforme dénommé par Hildebrandt [5] et Soemmering [4] ou triquetrum par Lyserius [3]. Bien que les os aient été identifiés, le carpe a été considéré comme un monolithe fonctionnel par les anatomistes jusqu'à la fin du XIX^e siècle.

Dès 1897, Bryce [6] rapportait à la Société d'anatomie l'observation radiographique des différentes articulations du poignet et décrivait les mouvements du scaphoïde autour du capitatum et le mouvement de bascule lors des déplacements de la main dans le plan frontal.

Les mouvements rotatoires entre scaphoïde et lunatum retrouvés sur le cadavre par Henke [7]. Fick [8] précisait la position dite « normale » sur les radiographies de face : axe du troisième métacarpien aligné avec celui du radius.

Johnston [9] analysait le positionnement des os du carpe en fonction des mouvements du poignet.

C'est à Destot [10], dans un ouvrage posthume publié en 1923, que l'on doit la première description précise des lésions carpiennes avec les fractures du scaphoïde, les lésions ligamentaires scapholunariennes associant horizontalisation du scaphoïde et augmentation de l'espace scapholunaire. Landsmeer [11] d'après les travaux de Kauer [12] introduisait « les cohérences spatiales et l'équilibre spatial dans la région carpienne ». Il analysait le

développement des os du carpe et concluait que, lors de la morphogenèse, chaque os acquiert des propriétés morphologiques lui permettant de répondre à la nécessité d'un équilibre spatial.

Le développement et la différenciation obéissaient à des lois de régulation d'ordre spatial avec des pièces osseuses permettant par l'adaptation de leur configuration tridimensionnelle de préserver une « distance utile ».

Linscheid et al. [13] publiait une classification des instabilités du carpe, dont la terminologie a été reprise par de nombreux auteurs.

Taleisnik [14] distinguait l'instabilité statique ou désaxation et l'instabilité dynamique se caractérisant par une perte des relations des os du carpe dans l'exécution de certains mouvements.

Dans le même esprit Allieu [15] introduisait la notion de « carpe adaptatif » soulignant le fait que tout changement de forme ou de volume osseux entraînait un déséquilibre architectural nécessitant une adaptation afin d'aboutir à une nouvelle situation d'équilibre. Linscheid et al. [13] s'interrogeait sur la « stabilité » du carpe, par opposition à celui d'« instabilité ». Cette « stabilité » se reflétant dans l'architecture des os du carpe serait la résultante des contraintes osseuses, articulaires, ligamentaires et tendineuses.

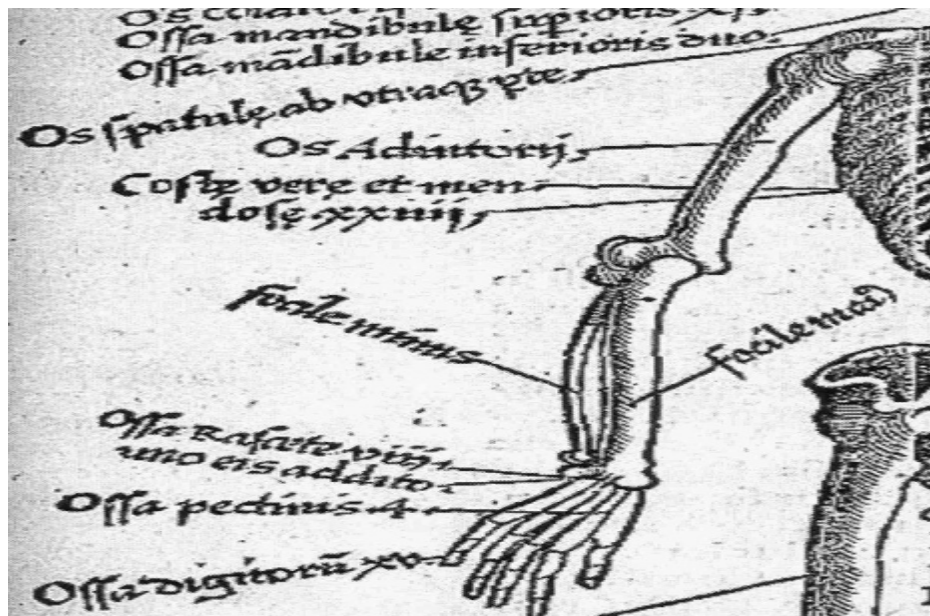


Figure 20 : Gravure représentation de 1352, noter l'absence des os du carpe

Os du carpe

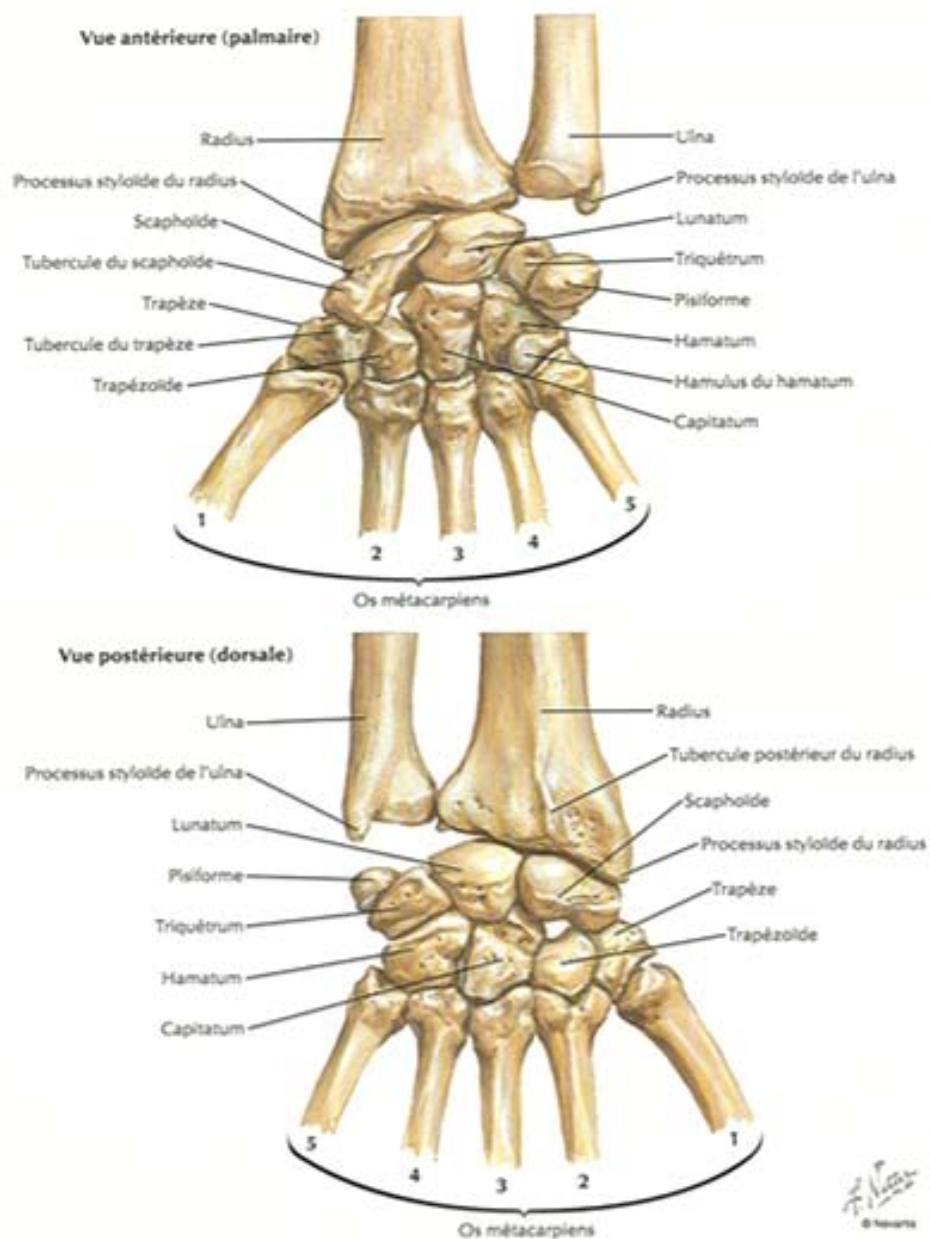


PLANCHE 477

MEMBRE SUPÉRIEUR

Figure 21 : Les os du carpe, vue palmaire et vue dorsale.

2. Anatomie descriptive du complexe radio-carpien:

Le poignet et le carpe forment un ensemble fonctionnel indissociable, équivalent d'une articulation à trois axes et trois degrés de liberté, placée à l'extrémité distale du membre supérieur, ou elle assure la présentation de la main dans l'attitude propre à la préhension des objets.

Le poignet comporte en réalité deux unités fonctionnelles, pouvant communiquer l'une avec l'autre et interférant l'une sur l'autre [16]:

- **l'articulation radio-cubitale inférieure (RCI)**, mécaniquement liée à la radio-cubitale supérieure (RCS), possédant un seul degré de liberté et responsable des mouvements de prono-supination, rotation de l'avant-bras sur son axe longitudinal ;
- **le complexe articulaire radio-carpien (CARC)**, comportant lui-même deux articulations, la radio-carpienne (RC), et la médio-carpienne (MC), qui possèdent ensemble deux degrés de liberté, la flexion-extension et l'abduction-adduction.

2.1. L'articulation radio-carpienne:

Elle met en regard deux surfaces : la glène anti-brachiale, et le condyle carpien (Figure 22).

Ces surfaces sont de type condylien, c'est-à-dire convexe sagittalement et convexe transversalement avec deux rayons de courbures différents, ce qui, en principe exclut la rotation active sur l'axe longitudinal; il existe par contre une certaine amplitude de pronosupination passive. La courbure transversale du condyle carpien est, dans son ensemble légèrement plus accentuée que la courbure correspondante de la glène, ce qui crée une certaine instabilité du carpe vers le dedans.

Les courbures convexes du condyle carpien correspondent aux courbures concaves de la glène anti-brachiale.

**Glène antibrachiale
(vue inférieure)**



**Condyle carpien
(vue supérieure)**



Figure 22 : L'articulation radio-carpienne avec les courbures convexes du condyle carpien correspondent aux courbures concaves de la glène anti-brachiale.

La glène anti-brachiale est formée en dehors, par la glène radiale située à la face inférieure de l'épiphyse inférieure du radius, subdivisée par une crête sagittale mousse (crista transversa) correspondant à l'interligne scapho-lunarienne. La glène n'est pas directement orientée vers le bas, mais légèrement vers l'avant suivant un angle de 15 à 20 °, et vers le dedans suivant un angle de 25 à 33 °, ce qui est facteur d'instabilité vers l'avant. En dedans, par la face inférieure concave et fibro-cartilagineuse du ligament triangulaire (discus articularis), tendu du bord inférieur de la cavité sigmoïde du radius à la base de la styloïde cubitale (processus styloideus). Le ligament triangulaire, véritable ménisque suspendu, forme une cloison horizontale séparant la RCI, en haut, de la RC, en bas. Le cubitus (ulna) ne s'articule donc pas avec le condyle carpien. Les bords antérieur et postérieur du ligament triangulaire donnent insertion à la capsule des deux articulations et à des ligaments.

Le *condyle carpien* est constitué par la face supérieure cartilagineuse de trois des os de la rangée supérieure du carpe, soit de dehors en dedans : le scaphoïde (scaphoideum), le semi-

lunaire (lunatum), le pyramidal (triquetrum), le quatrième, le pisiforme (pisiformis), s'articule à la face antérieure du précédent.

Ces trois os sont reliés entre eux par des ligaments interosseux, dont la face supérieure est recouverte de cartilage en continuité avec celui des os voisins: le ligament scapho-lunaire et le ligament pyramido-lunaire.

Les huit os du carpe se rangent anatomiquement en deux rangées et trois colonnes :

– **Deux rangées horizontales :**

- La rangée supérieure comprend le scaphoïde, le semi-lunaire, le pyramidal et le pisiforme. Les trois premiers os forment le *chafnon intercalaire instable* comprimé entre la glène anté-brachiale et la deuxième rangée.
- La rangée inférieure, formée du trapèze (trapezium), du trapézoïde (trapezoideum), du grand os (capitatum) et de l'os crochu (hamatum), constitue un *bloc très solide* avec les quatre derniers métacarpiens.

– **Les colonnes verticales :**

- La colonne externe comporte le scaphoïde << assis >> en équilibre instable sur un socle formé du trapèze et du trapézoïde.
- La colonne médiane est constituée de l'élément central du carpe, le grand os, coiffé du semi-lunaire, lui aussi en position instable.
- La colonne interne, symétriquement, comporte un socle, l'os crochu, sur lequel glisse le pyramidal flanqué en avant du pisiforme.

2.2. L'articulation médio-carpienne:

Située entre les deux rangées des os du carpe, elle est beaucoup plus difficile à définir géométriquement [16].

Elle est de type condylien en dedans et arthrodial en dehors. Elle s'organise autour d'un pivot central, le grand os, dont la tête convexe dans les deux sens, s'articule avec la face

inférieure concave du semi-lunaire. Avec ce dernier, le grand os forme l'axe longitudinal du carpe (Figure 23).

En dedans du grand os, l'os crochu complète la partie condylienne de cette rangée et s'articule avec la face inférieure concave du pyramidal.

En dehors, deux os situés plus distalement constituent la partie arthrodiale de l'interligne médio-carpien, le trapèze et le trapézoïde en dedans de lui.

Leurs surfaces articulaires supérieures planes s'articulent avec les deux facettes inférieures du scaphoïde.

Les quatre os de la rangée inférieure, réunis deux à deux par de puissants ligaments interosseux, sont plus cohérents que ceux de la rangée supérieure. Par contre la cavité articulaire entre les deux rangées n'est pas interrompue par des ligaments interosseux, cette liaison étant assurée par les ligaments intrinsèques.

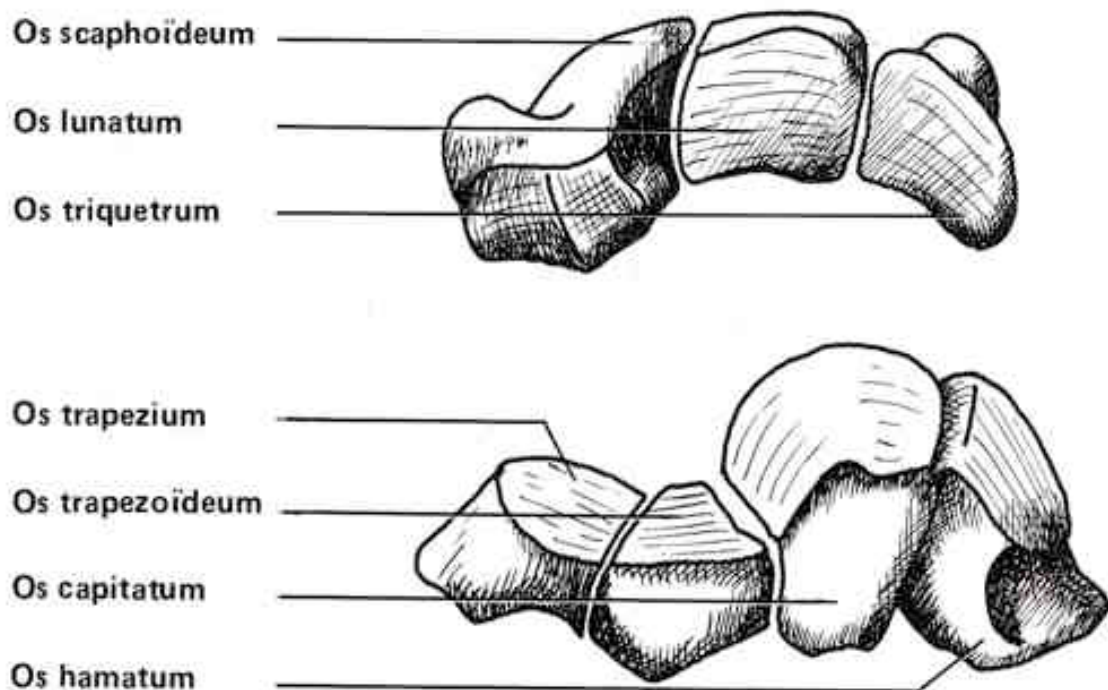


Figure 23 : L'articulation médio-carpienne

3. Les ligaments du poignet et du carpe:

Ils se répartissent en ligaments extrinsèques et intrinsèques [16;17] (Figure 24; 25;26) :

3.1. Les ligaments extrinsèques :

Ils unissent l'extrémité inférieure des deux os de l'avant-bras et les os du carpe qu'ils suspendent littéralement ; ils se prolongent par des ligaments intrinsèques pour former des sangles et des chaînes ligamentaires.

Leur description a soulevé et soulève encore de nombreuses discussions. Nous utiliserons la plus récente. Ils se répartissent en ligaments antérieurs, postérieurs, internes et externes.

❖ Les ligaments antérieurs sont au nombre de trois :

➤ *Le ligament radio-carpien antérieur*, comporte trois faisceaux partant du bord antérieur de la glène radiale :

Le ligament radio-pyramidal, formé de deux faisceaux, l'un horizontal, partant de la styloïde radiale et se terminant sur le pyramidal s'insérant au passage sur la corne antérieure du lunaire: c'est le frein antérieur de cet os; l'autre oblique presque vertical, partant de l'angle antéro-interne de la cavité sigmoïde, au niveau du nœud ostéo-fibreux antérieur du radius, pour se terminer sur le pyramidal avec le faisceau horizontal ;

Le ligament radio-capital partant du bord antérieur de la styloïde radiale pour se fixer sur la face antérieure du col du grand os, après avoir cravaté par en avant le col du scaphoïde ;

Le ligament radio-scaphoïdien, étendu du bord antérieur de la styloïde radiale à la face antérieure du scaphoïde près du tubercule.

➤ *Le ligament radio-scapho-lunaire* mieux visible par l'intérieur de la cavité articulaire ouverte en arrière, soulève un repli synovial, tendu de l'extrémité antérieure de la crista transversa à l'intervalle scapho-lunaire ;

il se confond avec le ligament du même nom ; c'est un ligament porte-vaisseaux, assurant la trophicité du semi-lunaire et du pôle supérieur du scaphoïde. On décrit aussi un ligament symétrique partant de l'extrémité postérieure de la crista transversa et se terminant à la partie postérieure de l'intervalle scapho-lunaire.

- **Le ligament cubito-carpien** recouvre le faisceau oblique du ligament radio-pyramidal et comporte lui-même deux faisceaux partant de la styloïde cubitale : un faisceau profond se terminant sur la corne antérieure du lunaire, participant à la formation du frein antérieur ; un faisceau superficiel se fixant sur la face antérieure du col du grand os,

❖ Les ligaments postérieurs comportent :

- Principalement, le *ligament radio-pyramidal postérieur*, constituant la lanière postérieure de la fronde du pyramidal, qui part de l'angle postéro-interne de la glène radiale, se tissant avec les fibres du ligament radio-cubital inférieur et postérieur et avec le ligament triangulaire et se fixe à la face *antérieure* du pyramidal après avoir contourné son bord externe ; il est doublé à sa face profonde par une formation fibro-ligamentaire, faisant saillie à l'intérieur de la cavité articulaire et décrite par Taleisnik sous le nom de ligament méniscal, ce qui prête à confusion avec le ligament triangulaire (meniscus).
- Accessoirement, attachés au bord postérieur de la glène, trois ligaments se terminant à la face postérieure du pyramidal, la corne postérieure du lunaire et sur le scaphoïde, sans oublier le ligament radio-scapho-lunaire postérieur déjà vu.

- **Le ligament latéral interne** : Partant de la styloïde cubitale, il se divise en deux faisceaux, pour se terminer sur le pisiforme et la face interne du pyramidal.
- **Le ligament latéral externe** : Il part de la styloïde radiale pour se terminer en deux faisceaux sur le tubercule et la face externe du scaphoïde.

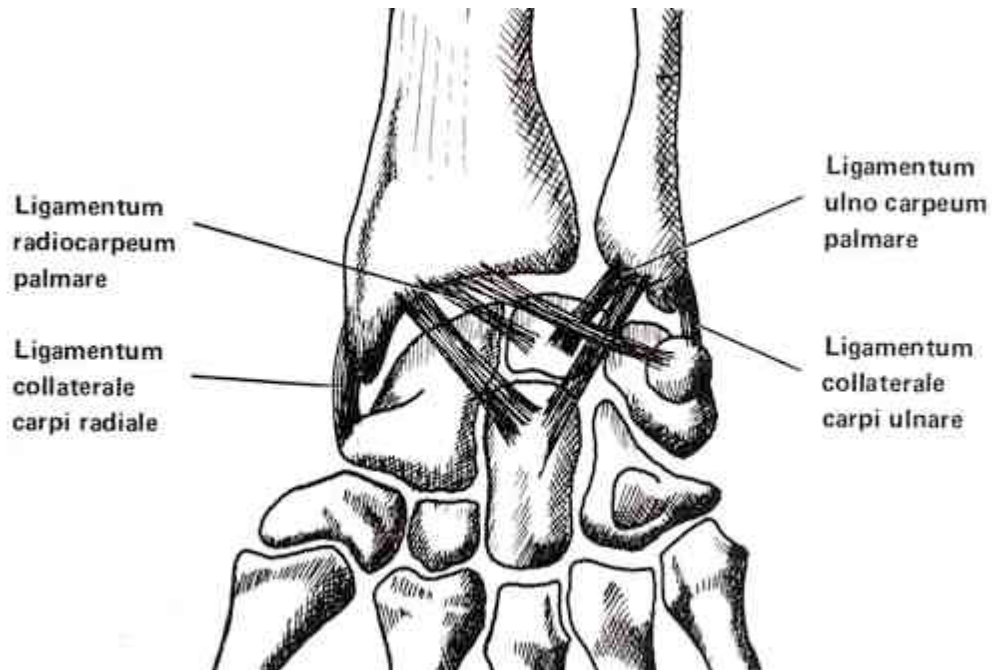


Figure 24 : vue palmaire des ligaments extrinsèques

3.2. Les ligaments intrinsèques:

On distingue les ligaments extra-articulaires, insérés à la surface du massif carpien et ceux qui sont situés dans les espaces interosseux.

❖ Les ligaments interosseux:

Ils réunissent entre eux les os de chacune des rangées du massif carpien, qui restent indépendantes l'une de l'autre au niveau de l'interligne médio-carpien. Ainsi, les quatre os de la rangée inférieure sont réunis très fermement par trois ligaments: le trapèze-trapézoïdien, le trapézoïdo-grand os (trapézoïdo-capital), et le ligament grand os -os crochu (hamato-capital).

Les trois os principaux de la rangée supérieure sont réunis par deux ligaments très importants pour la stabilité du carpe : le ligament scapho-lunaire (scapho-lunatum) et le ligament pyramido-lunaire (triquetro-lunatum).

❖ **Les ligaments extra-articulaires:**

Ils renforcent la capsule et se situent à la surface des os du carpe dont ils assurent la cohésion. Ils se répartissent en antérieurs et postérieurs.

➤ ***Les ligaments extra-articulaires antérieurs***

Pour la plupart, ils rayonnent autour du col du grand os et constituent le ligament rayonné de Poirier, clé de l'édifice.

- Le ligament scapho-capital part du pôle inférieur du scaphoïde ;
- le ligament lunaro-capital est souvent subdivisé en deux faisceaux
- le ligament triquetro-capital est symétrique du scapho-capital ;

Les trois autres ligaments se dirigent vers l'os crochu, le trapézoïde et le trapèze.

En dehors, le *ligament scapho-trapézien* prend part au complexe ligamentaire scapho-trapézien distal qui verrouille l'articulation scapho-trapézienne lors de son extension.

En dedans, le *ligament pyramido-crochu* (hamatotriquetral) joue aussi le rôle de stabilisateur du pyramidal sur l'os crochu.

Quant au *pisiforme*, il est maintenu sur la face antérieure du pyramidal par un système ligamentaire propre : ligament pyramido-pisiformien ; ligament hamato-pisiformien ; ligament pisi-unciformien ; ligament pisi-métacarpien, vers le cinquième ; rappelons l'insertion terminale du tendon du cubital antérieur, le faisceau antérieur du ligament latéral interne et l'expansion au ligament annulaire antérieur du carpe.

➤ ***Les ligaments extra-articulaires postérieurs***

Ils sont au nombre de trois :

- Le *ligament transverse dorsal de la première rangée*, étendu horizontalement de la face postérieure du pyramidal à celle du scaphoïde, en prenant relai au passage

sur la corne postérieure du lunaire et envoyant une expansion au ligament latéral externe ; il contrôle la convexité postérieure de la première rangée.

- Le *ligament médio-carpien dorsal* bande oblique partant du pyramidal et se terminant sur la face postérieure du trapèze et du trapézoïde, prenant au passage une insertion-relais du grand os.
- Le *ligament pyramido-crochu postérieur*, tendu verticalement entre les deux os.

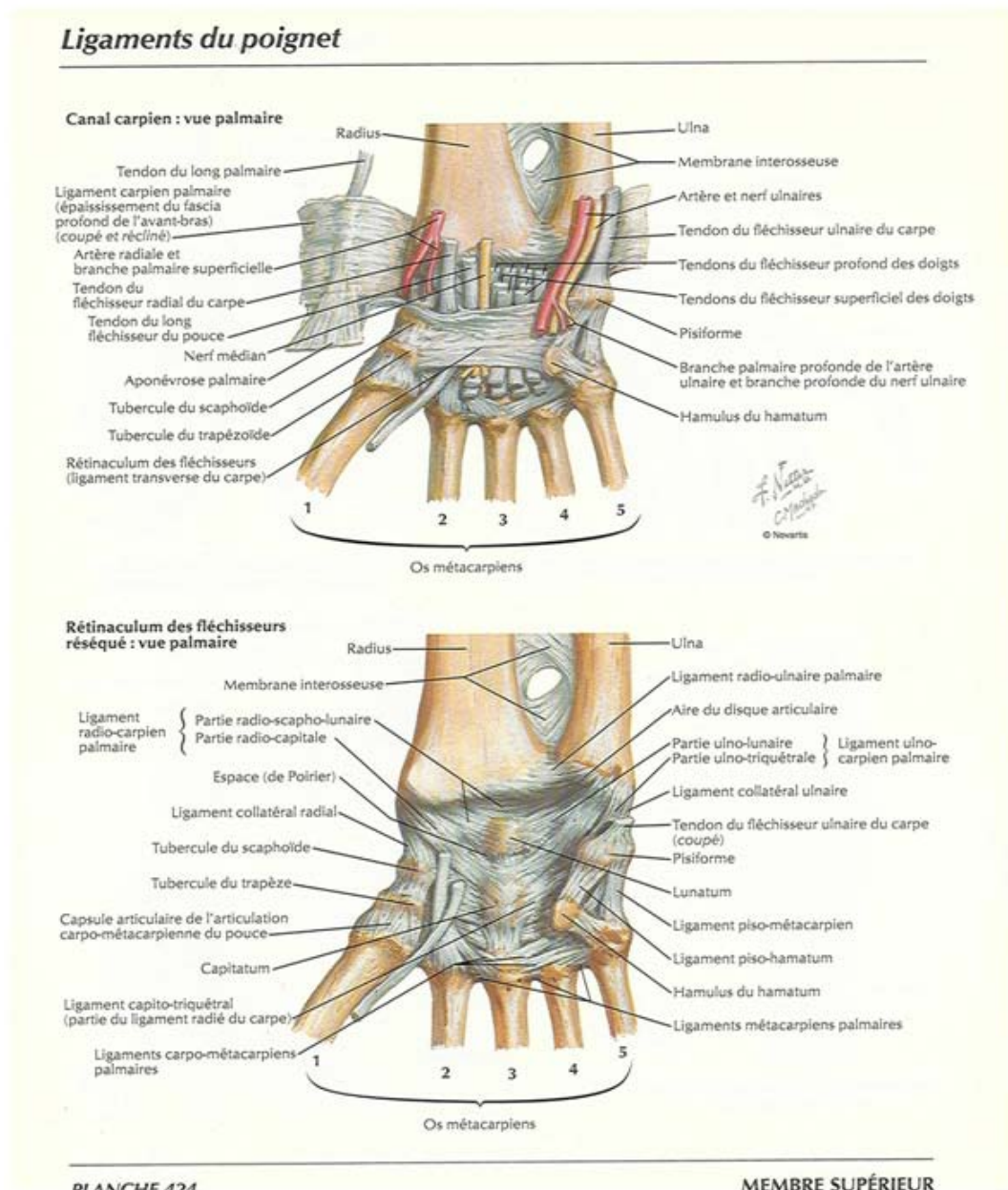


Figure 25:Ligaments du poignet; vue palmaire

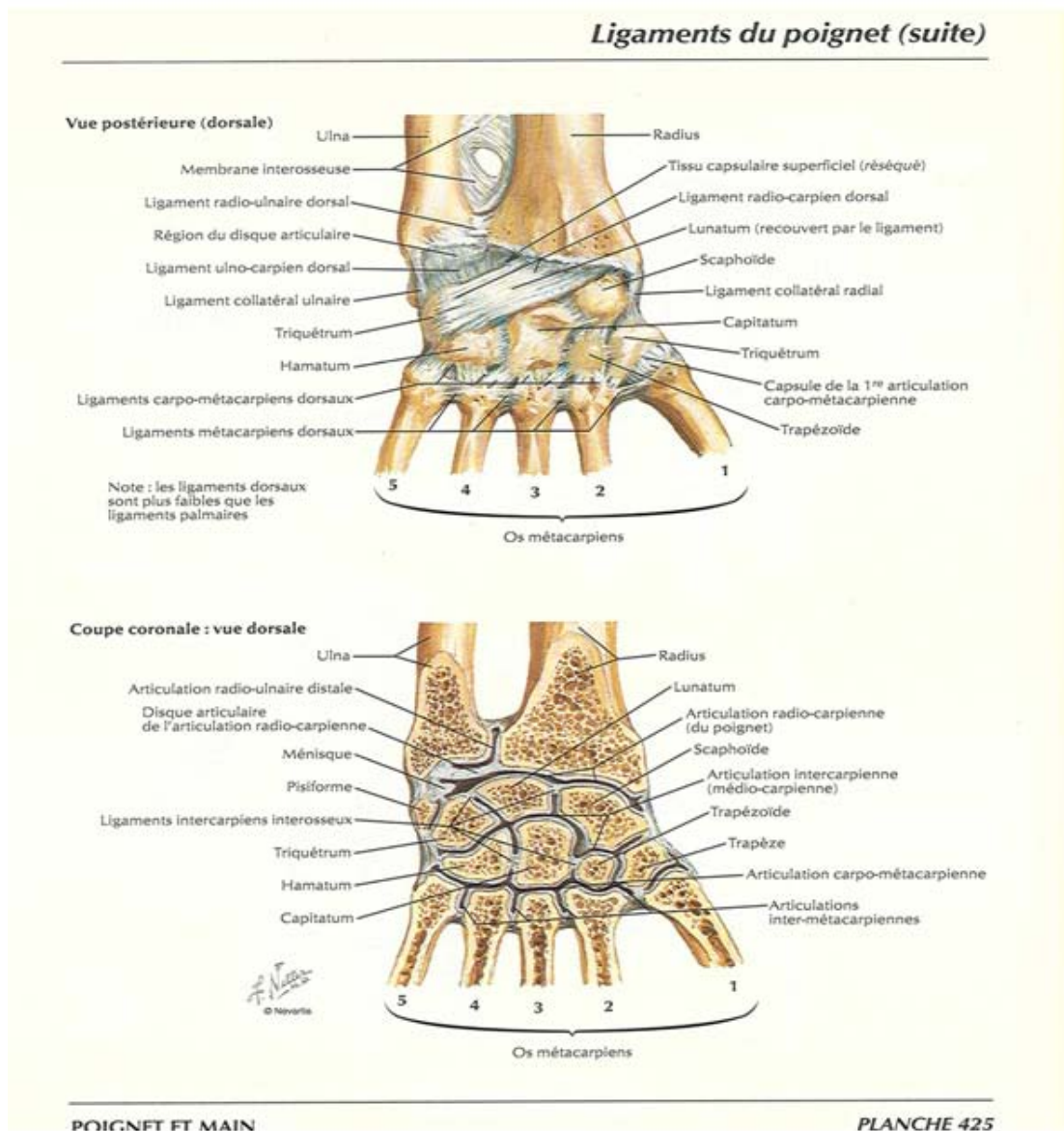


Figure 26: ligaments du poignet; vue dorsale

4. Les chaînes ligamentaires

Cette description anatomique ne donne pas une idée de leur groupement en chaînes ligamentaires pour former de véritables unités fonctionnelles : les *sangles*, les *frondes*, et les *noeuds fibro-ligamentaires*.

4.1. Les sangles:

- La sangle antérieure est formée par pratiquement tous les ligaments antérieurs :
 - les ligaments radio-capital et scapho-capital forment la branche externe du V de la sangle ;
 - le ligament cubito-palmar, avec son faisceau capital et son faisceau lunarien et le ligament pyramido-capital forment sa branche interne ;
 - les ligaments radio-scapho-lunaire, radio-lunaire et lunaro-capital combleraient incomplètement l'espace entre les deux branches du V.

Cette sangle antérieure assure à la fois la suspension du carpe et sa cohésion antérieure, mais il existe un point faible entre radio-lunaro-pyramidal et radio-capital.

- La sangle postérieure formée par la bande horizontale et la bande oblique, assure sa cohésion postérieure et en particulier la solidarité fonctionnelle entre les trois os de la rangée supérieure.

4.2. Les frondes:

- La fronde du pyramidal est constituée en avant, par le ligament radio-pyramidal, formé d'une lanière horizontale et d'une bande verticale partant du nœud ostéo-fibreux antérieur du radius ; en arrière, par la lanière postérieure du ligament radio-pyramidal postérieur, doublé en profondeur par le ligament méniscal de Taleisnik et fixé au nœud ostéo-fibreux postérieur du radius ; le pyramidal qui joue le rôle de la pierre dans la fronde, est ainsi maintenu et conduit dans ses mouvements sur la face articulaire supérieure de l'os crochu, qui lui sert de socle. Cette fronde articulaire du pyramidal est doublée superficiellement par la fronde extra-articulaire des ligaments annulaires, que nous verrons plus loin.

4.3. Nœuds fibro-ligamentaires:

Cinq nœuds ostéo-fibreux peuvent être décrits :

- Le nœud ostéo-fibreux antérieur du radius : le faisceau de renforcement antérieur du ligament triangulaire ; la partie inférieure du ligament radio-cubital inférieur et

antérieur ; le faisceau vertical de la fronde du pyramidal ; le faisceau profond du ligament radio-pyramidal antérieur.

- -Le nœud ostéo-fibreux postérieur du radius situé à l'angle postéro-inférieur de la cavité sigmoïde du radius sur lequel s'attachent : le faisceau de renforcement postérieur du ligament triangulaire ; la partie inférieure du ligament radio-cubital inférieur et postérieur ; le ligament radio-pyramidal postérieur, lanière postérieure de la fronde du pyramidal; l'expansion au ligament annulaire dorsal et à la gaine du cubital postérieur.
- Le nœud ostéo-fibreux du pisiforme, stabilisant l'insertion distale du cubital antérieur.
- Le nœud ostéo-fibreux du col du grand os, élément essentiel de la cohésion du massif carpien, déjà décrit.
- Le nœud ostéo-fibreux du complexe scaphoïde-trapèzien distal, stabilisant le pôle inférieur du scaphoïde sur le trapèze et le trapézoïde.

5. Les ligaments annulaires:

Le ligament annulaire antérieur du carpe (LAAC) ou retinaculum flexorum est étendu transversalement d'une berge à l'autre de la gouttière carpienne, la transformant ainsi en une grande coulisse ostéo-fibreuse, le canal carpien.

C'est le plus puissant des ligaments du poignet. Il est formé de fibres :

- transversales unissant le scaphoïde et le trapèze en dehors au pisiforme et à l'os crochu en dedans ;
- obliques ou diagonales qui renforcent la solidité;
- longitudinales au niveau des zones d'insertion, elles limitent l'extension entre les deux rangées du carpe.

Du côté externe et en profondeur, une cloison sagittale venant se fixer sur le carpe isole le tunnel du grand palmaire.

Du côté interne et en superficie, un feuillet prolongeant en dehors le ligament annulaire dorsal constitue le canal de Guyon qui contient artère et nerf cubitaux.

Le LAAC contrôle la concavité de la gouttière carpienne lors de l'extension du poignet et maintient les tendons fléchisseurs au contact du squelette carpien lors de sa flexion.

Le ligament annulaire dorsal du carpe (LADC) ou *retinaculum extensorum* est beaucoup moins épais que le ligament antérieur ; il s'insère au bord postéro-externe de l'épiphyse radiale et comprend deux faisceaux :

- le faisceau supérieur, ou proximal, est transversal et se termine sur l'épiphyse cubitale. De sa face profonde partent des cloisons s'insérant sur les crêtes de la face postérieure du radius et formant cinq tunnels dans lesquels coulisent les tendons extenseurs du poignet et des doigts. Ce sont de dehors en dedans : le long abducteur (*abductor pollicis longus*), le court extenseur du pouce (*extensor pollicis brevis*) ; les deux radiaux (*extensor carpi radialis brevis* et *longus*) ; le long extenseur du pouce (*extensor pollicis longus*) ; les quatre extenseurs communs des doigts (*extensor digitorum*) et l'extenseur propre de l'index (*extensor indicis*) ; l'extenseur propre de l'auriculaire (*extensor auricularis*).
- Le faisceau inférieur ou distal, oblique en bas et en dedans, contourne le bord interne du carpe au-dessous de la tête cubitale pour se terminer sur le pisiforme et le tendon du cubital antérieur (*flexor carpi ulnaris*). Recevant des fibres provenant du nœud fibreux postéro-interne du radius, il amarre la gaine du tendon du cubital postérieur (*extensor carpi ulnaris*) à la face postérieure de la tête cubitale, représentant ainsi son moyen essentiel de stabilité.

Unis au niveau du pisiforme, les deux ligaments annulaires forment ensemble la fronde extra-articulaire qui participe à la stabilité rotatoire du carpe.

6. Facteurs de stabilité du poignet :

Le carpe est cohérent et, à l'état normal, stable.

Cette stabilité existe malgré l'existence d'une mobilité intracarpienne, le carpe adaptant en permanence son volume, par modification des rapports de ses os entre eux lors des mouvements du poignet (Carpe à géométrie variable de Kulhmann) [18].

La *stabilité intracarpienne* est due à deux facteurs :

- les formations ligamentaires ;
- la forme et le volume des os du carpe entraînant une cohérence spatiale des os du carpe [15, 19].

6.1. FORMATIONS LIGAMENTAIRES

Les formations ligamentaires sont capitales. En effet, la première rangée des os du carpe fonctionne comme un véritable ménisque interposé. Les trois os qui la composent sont en équilibre instable et leur stabilité entre eux dépend uniquement de leur union ligamentaire. Le scaphoïde en position oblique entre le radius et la deuxième rangée a tendance à se horizontaliser en se fléchissant et entraîne le semi-lunaire en flexion.

Les mouvements du scaphoïde et du semi-lunaire, solidarisés entre eux par le ligament scapho-lunaire, se font à l'état normal dans le même sens. En inclinaison radiale, et en flexion dorsale du poignet, le scaphoïde, comprimé entre l'auvent radial et la deuxième rangée se couche en flexion entraînant le semi-lunaire dans le sens d'une VISI (Volar Intercalated Segment Instability). En inclinaison cubitale, et en flexion palmaire du poignet, les deux os se mettent en extension : le scaphoïde s'étend et le semi-lunaire a tendance à se mettre en DISI (Dorsal Intercalated Segment Instability).

Ainsi le scaphoïde intercalé entre les deux rangées jouera un rôle essentiel dans la biomécanique du carpe. Cet aspect classique de la physiologie intracarpienne ne doit pas faire oublier les phénomènes capitaux et plus récemment mis en exergue qui se déroulent du côté cubital. Le pyramidal joue en effet sur le versant interne du carpe un rôle primordial.

Il glisse sur la surface articulaire << en pas de vis >> de l'os crochu selon un mouvement hélicoïdal qui l'amène d'une position haute proximale et dorsale où il a tendance à se mettre en flexion palmaire à une position <<basse >> plus distale et palmaire, où il se met en flexion dorsale. Il occupe cette position basse en inclinaison cubitale où il est refoulé vers le bas. Il se met alors en dorsi-flexion entraînant le semi-lunaire qui lui est uni dans le sens d'une DISI. Le scaphoïde étant solidaire du semi-lunaire, toute la première rangée a donc, de façon concordante, tendance à s'étendre. L'inverse se produit en inclinaison radiale. L'articulation hamato-pyramidale joue donc un rôle essentiel. A l'état normal, les formations ligamentaires convergeant sur le pyramidal (ligament pyramido-lunaire, faisceau interne ou capito-pyramidal du ligament en V, ligament dorsal intermétacarpien et ligament dorsal radioluno-pyramidal) assurent le jeu harmonieux de ce mécanisme complexe, le pyramidal se vissant ou se dévissant de sa position haute à sa position basse sur la surface articulaire de l'os crochu de façon progressive.

Leur insuffisance entraîne une perte de contrôle de ce mouvement qui se fera de façon brusque, le pyramidal passant brutalement de la position haute ventro-fléchiée à la position basse dorsi-fléchiée en inclinaison cubitale et vice versa en inclinaison radiale, entraînant un ressaut et une instabilité dynamique.

Le semi-lunaire solidaire du pyramidal se mettra brusquement lors de ces mouvements en DISI et VISI. Par ailleurs, étant donné la faiblesse de la solidarisation capito-lunaire (espace de Poirier), le faisceau interne du ligament en V est la seule structure qui croise l'interligne médio-carpien (sinon le scaphoïde du côté externe interposé entre les deux rangées). En effet l'articulation médio-carpienne est très lâche en dehors, au niveau de l'union scapho-trapézo-trapézoidienne (le scaphoïde étant véritablement en équilibre et très mobile sur le socle trapézo-trapézoidien) et à la partie moyenne entre le grand os et le semi-lunaire. Ainsi la partie interne (articulation pyramido-os crochu) est la clé de la stabilisation médio-carpienne. Toute déstabilisation interne hamato-pyramidale entraînera une instabilité médio-carpienne de la première rangée sur la deuxième.

En résumé, les trois os de la première rangée se fléchissent de façon concordante en inclinaison radiale et en extension du poignet. Ils s'étendent en inclinaison cubitale et en flexion. Le passage de la position ventro-fléchie à la position dorsi-fléchie ou vice versa lors des mouvements du poignet se fait de façon progressive, le carpe adaptant son volume en permanence lors des mouvements du poignet (figure 27). La deuxième rangée forme un véritable bloc compact, ne possédant en son sein que des micromouvements et fait la transmission avec le métacarpe.

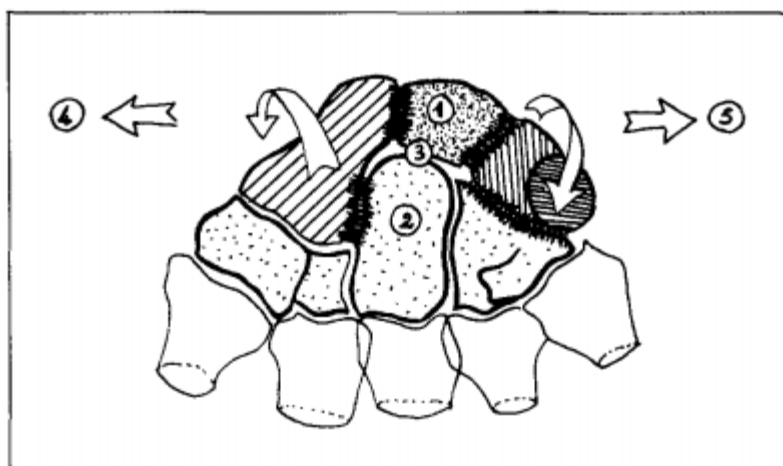


Figure 15 : Connexions ligamentaires et mobilité intracarpienne.
La 1^{ère} rangée du carpe interposée comme un ménisque est très mobile.

6.2. COHERENCE SPATIALE

La cohérence spatiale des os du carpe est indispensable au maintien d'une hauteur et donc d'un volume constant dans une situation donnée. Cette harmonie du carpe permet la transmission des contraintes jusqu'à l'arc-boutant radial (figure 28).

Toute lésion ligamentaire, toute variation de forme ou de volume des os du carpe, vont entraîner une déstabilisation du carpe.

La déstabilisation du carpe peut se traduire par des mouvements anormaux n'apparaissant que dans certaines positions forcées.

Elle est la conséquence de lésions ligamentaires entraînant une instabilité dynamique (Dynamic instability de Taleisnik). Le terme d'instabilité, paraît approprié à cet état. Elle peut

entraîner des désaxations permanentes (Static instability de Taleisnik) des os du carpe du fait de leur modification de position soit après luxation pérennisée, soit secondaires à une modification de forme ou de volume (désaxations carpiennes d'adaptation) [15].

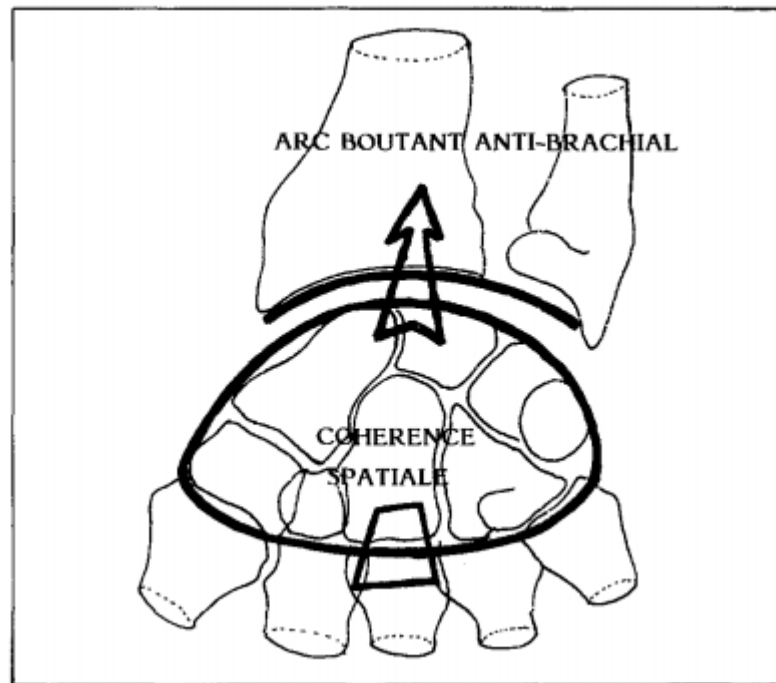


Figure 28: Toute altération de la cohérence spatiale du carpe (altération de forme ou de volume des os du carpe) ou toute modification anté-brachiale entraîne des désaxations intracarpiennes d'adaptation.

7. Anatomie fonctionnelle du complexe radiocarpien :

Globalement, le poignet possède trois axes mécaniques, perpendiculaires entre eux deux à deux (orthogonaux), et trois degrés de liberté : [16]

7.1. La flexion-extension autour de l'axe transversal :

L'axe de flexion-extension du poignet, contenu dans le plan frontal, est située un peu au-dessous de l'interligne radio-carpien ; en réalité, il s'agit là d'un axe moyen, car comme il est de règle en biomécanique, il n'existe pas d'axes fixes mais des axes évolutifs, c'est-à-dire une succession d'axes instantanés pour chaque position du mouvement (Figure 29).

La flexion est le mouvement qui porte la paume de la main vers la face antérieure de l'avant-bras ; son amplitude est de 85 °.

L'extension est le mouvement inverse et son amplitude est de 85°- 90 °.

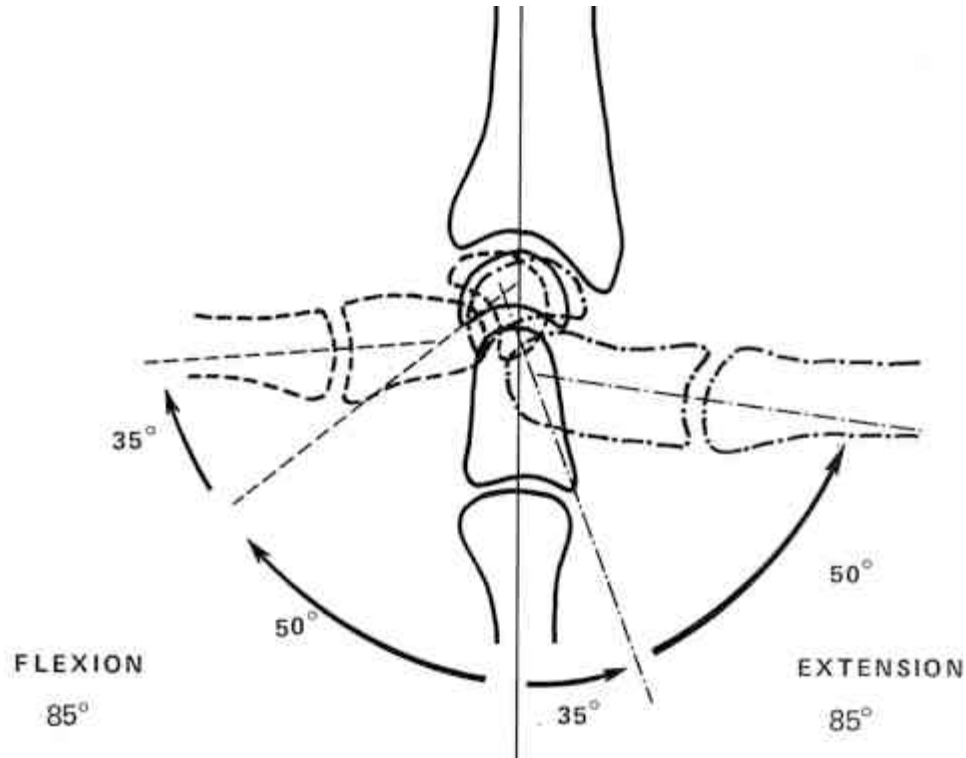


Figure 29: Les mouvements de flexion-extension autour de l'axe transversal

7.2. L'abduction-adduction autour de l'axe sagittal :

L'axe d'abduction-adduction, contenu dans le plan sagittal, est perpendiculaire au précédent ; dans sa position moyenne il est situé au niveau de la tête ou du col du grand os. Le mouvement s'effectue donc dans le plan frontal, lorsque la main est en position anatomique, c'est-à-dire en supination (Figure 30).

L'abduction, encore appelée inclinaison radiale, porte l'axe de la main en dehors. Son amplitude mesurée entre l'axe de l'avant-bras et celui du troisième métacarpien se prolongeant dans celui du troisième doigt, est de 15 à 25 °.

L'adduction, ou inclinaison cubitale, mouvement inverse, porte l'axe de la main en dedans. Son amplitude est nettement plus grande puisqu'elle atteint 45 à 50°.

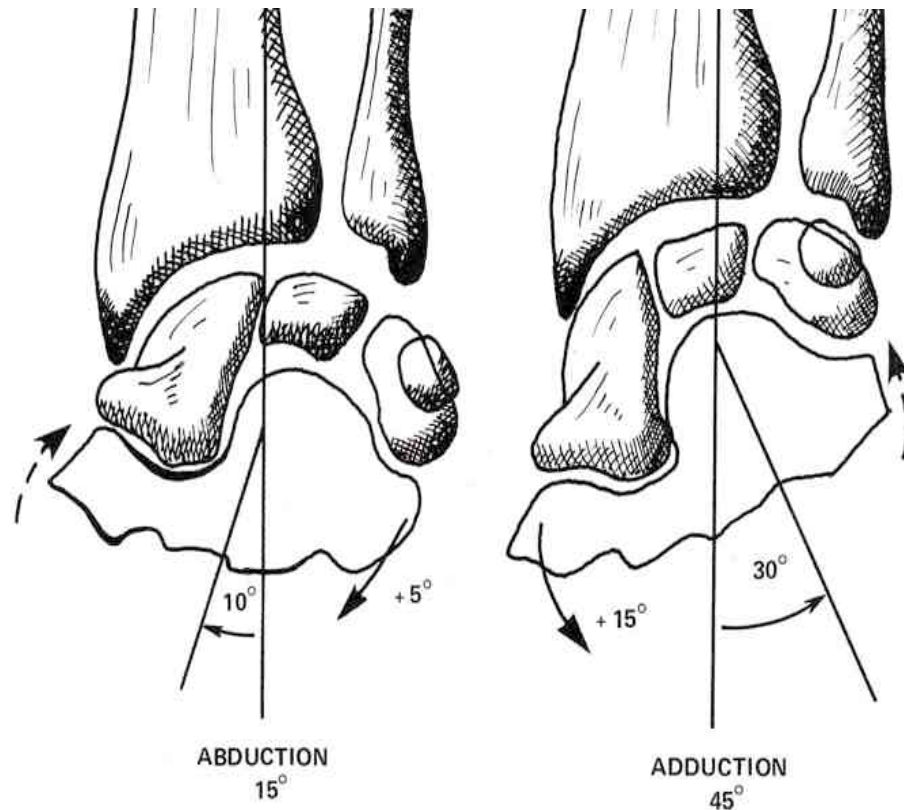


Figure 30: Les mouvements d'abduction-adduction autour de l'axe sagittal

7.3. La pronosupination autour de l'axe longitudinal :

L'axe de pronosupination, contenu dans le plan frontal, est perpendiculaire aux deux précédents ; sa position moyenne occupe l'axe longitudinal de l'avant-bras.

La mesure de la pronosupination ne peut être faite que le coude au corps, fléchi à angle droit, pour éliminer la rotation du bras sur son axe longitudinal (Figure 31).

Dans cette attitude, la position de référence à partir de laquelle doit être mesurée l'amplitude de la pronosupination, le plan de la main est vertical, pouce dirigé vers le haut.

La pronation est le mouvement qui porte le pouce en dedans, alors que la paume regarde vers le sol. Son amplitude, par rapport à la position de référence ou l'axe du bras vu en perspective, est de 85 à 90°.

La supination, mouvement inverse, porte le pouce en dehors et dirige la paume de la main vers le ciel. Son amplitude est de 90°.

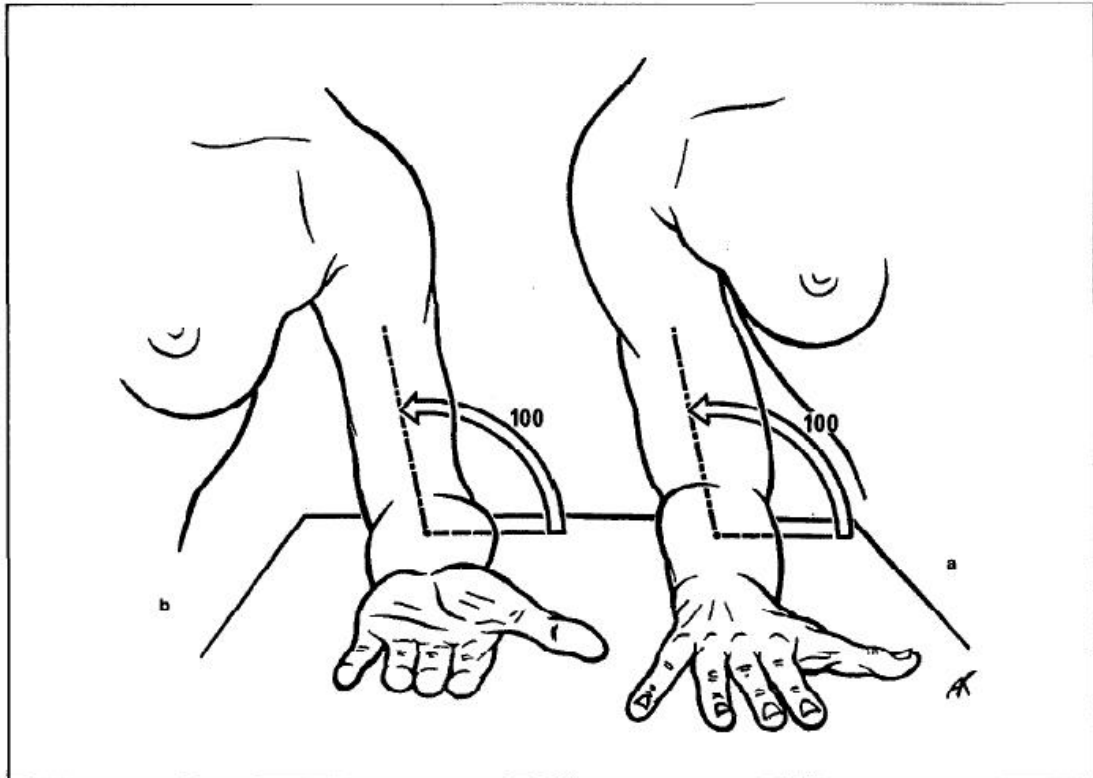


Figure 31: Les mouvements de pronosupination autour de l'axe longitudinal

II. RAPPEL RADIOLOGIQUE

La complexité du carpe constitué par 8 os explique la difficulté toute particulière de l'examen radiologique [20].

1. Incidences du poignet :

1.1. Le cliché de face postéro-antérieur (figure 32-33)

Le cliché est classiquement réalisé chez un sujet assis, la face palmaire du poignet et de la main à plat contre la plaque radiographique, en position neutre, doigts légèrement écartés, pouce en abduction. Le coude est fléchi à 90° à hauteur de la table, l'avant bras et le bras sont horizontaux. Le rayon incident est vertical, centré sur le poignet.

Les critères de réussite de ce cliché sont l'alignement de l'axe du radius, du capitatum et du 3e métacarpien, ainsi qu'une bonne visibilité des interlignes radio-ulnaire distal, lunotriquétral, et scapho-trapézoïdo-trapézien. Il doit exister sur ce cliché une continuité entre la corticale médiale de l'ulna et du processus styloïde ulnaire.

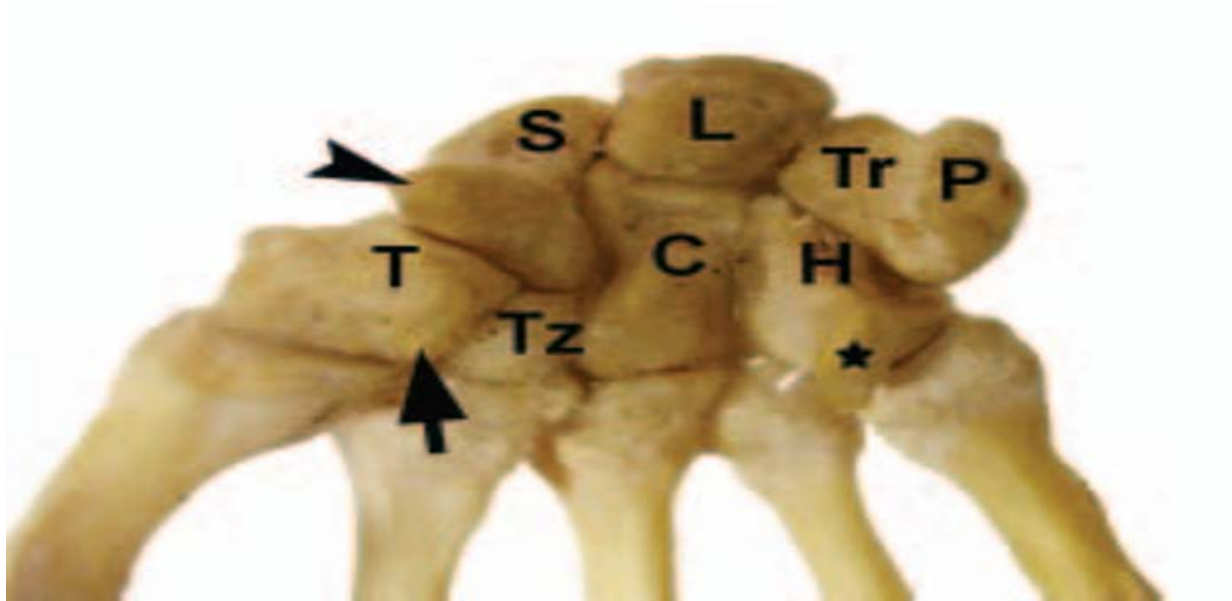


Figure 32 : Vue antérieure des os du carpe sur une pièce anatomique.

S : scaphoïde ; L : lunatum ; Tr : triquetrum ; P : pisiforme ;
T : trapèze ; Tz : trapézoïde ; C : capitatum ; H : hamatum. Flèche : tubercule du trapèze ; Étoile : hamulus de l'hamatum.
Tête de flèche : tubercule du scaphoïde.



Figure 33 : Positionnement et radiographie du poignet de face en paume-plaque (incidence postéro-antérieure).

Noter sur la radiographie la continuité entre la corticale médiale de l'ulna et la styloïde ulnaire. Les interlignes carpiens sont réguliers et d'épaisseur superposable (en particulier le scaphotrapézien et le lunotriquétral), ne dépassant pas 2 mm.

Les trois arcs de Gilula sont représentés. Ces arcs unissent respectivement : la corticale supérieure des 3 os de la rangée supérieure du carpe, la corticale inférieure des 3 os de la rangée supérieure du carpe, le rebord supérieur du capitatum et de l'hamatum.

a. Analyse du cliché

L'analyse doit porter sur la morphologie, le contour et la densité des différents os du carpe [21;22]. Certains points particuliers doivent être analysés de manière plus spécifique pour le scaphoïde, le lunatum et l'hamatum.

- Le scaphoïde : il est normalement raccourci par son inclinaison de 45° et il est traversé par une ligne dense correspondant à la projection du bord supérieur de son

tubercule antérieur. En cas de rotation-basculé palmaire du scaphoïde (secondaire à une instabilité scapho-lunaire), la projection de son tubercule antérieur apparaît sous la forme d'un anneau cortical « signet-ring sign ». Ce signe n'a de valeur pathologique que si le cliché de face est réalisé en position neutre ou en inclinaison ulnaire du poignet. En effet, en cas d'inclinaison radiale du poignet, le scaphoïde subit une bascule palmaire physiologique et on objective un anneau en projection sur le scaphoïde [20,23].

- Le lunatum : la corne antérieure (large et carrée) et la corne postérieure (petite et pointue) sont superposées. En cas d'instabilité scapholunaire, le lunatum subit une bascule dorsale, ce qui dégage sa corne antérieure vers le bas. À l'inverse, en cas d'instabilité lunotriquétrale, c'est la corne postérieure du lunatum qui est déagée vers le bas en raison de sa bascule palmaire.
- L'hamatum : il est de forme triangulaire. L'insertion de l'hamulus (apophyse unciforme) est cernée par un liseré dense et continu (l'« oeil » de l'hamatum), sauf à sa partie supéro-interne.

La non visualisation de ce liseré doit faire suspecter, dans un contexte traumatique, une fracture de l'hamulus [24]. Cependant, dans deux situations rares, cette non visualisation de l'anneau est possible en dehors de toute origine traumatique : l'absence congénitale de l'hamulus, ou la non fusion du noyau d'ossification secondaire de l'hamulus (os hamuli proprium) [25].

Les parties molles péri-articulaires doivent également être analysées avec soin car leurs modifications peuvent être le seul signe indirect d'une fracture. On analysera notamment les lignes graisseuses pararadiales et scaphoïdiennes, présentes chez la majorité des sujets. L'effacement ou le déplacement de la ligne graisseuse pararadielle doit faire rechercher une fracture des os de l'avant bras ou du poignet. De la même manière, la non visibilité du liseré

graisseux situé entre la corticale latérale du scaphoïde et les tendons des muscles longs abducteur et court extenseur du pouce représente un signe indirect intéressant (figure 34)

Nous soulignerons toutefois que la visibilité du liseré a surtout une valeur prédictive négative.

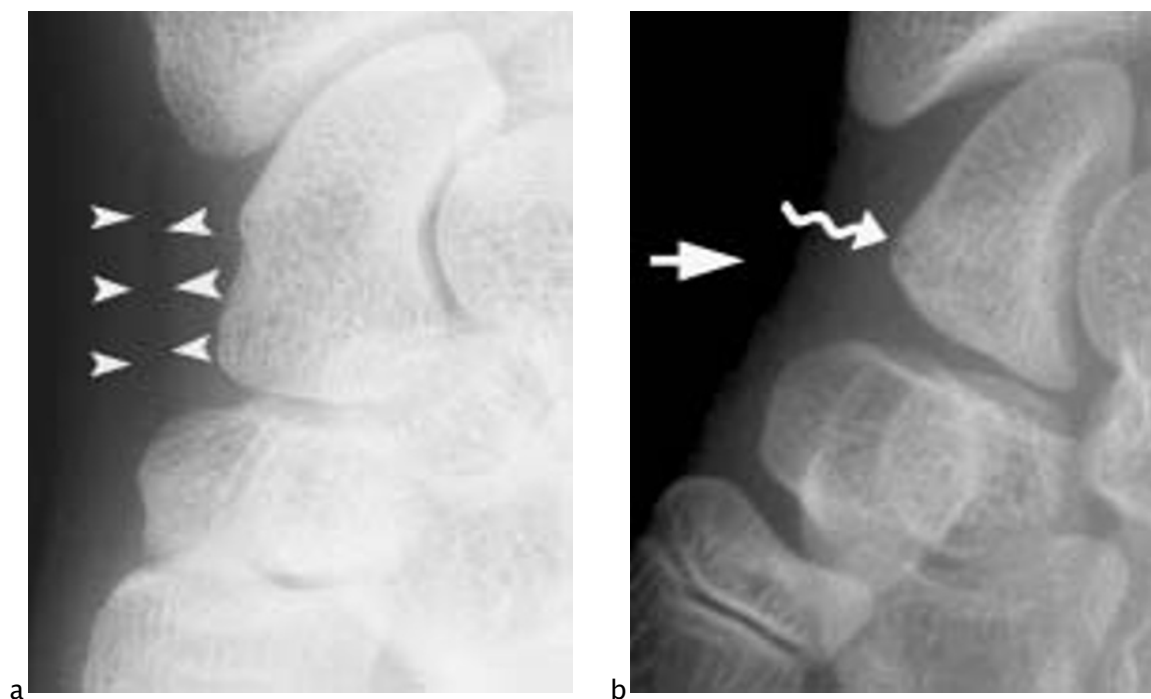


Figure 34 : La ligne graisseuse parascaphoïdienne.

a Présence de la ligne graisseuse parascaphoïdienne (têtes de flèche) sur un poignet normal.

b Discret trait de fracture du tubercule du scaphoïde (flèche sinueuse) associé au comblement du liseré graisseux parascaphoïdien (flèche).

b. Repères de la radiographie de face

Les arcs de Gilula (figure 33) : ils sont au nombre de 3 et unissent respectivement la corticale supérieure des os de la rangée supérieure du carpe, la corticale inférieure des os de la rangée supérieure du carpe et les rebords supérieurs du capitatum et de l'hamatum. Ces 3 lignes sont normalement régulières et continues ; leur rupture signe une instabilité du carpe [26].

Les interlignes carpiens : ils doivent apparaître réguliers et d'épaisseur superposable (en particulier les interlignes scaphotrapézien et lunotriquétral), ne dépassant pas 2 mm. Un

interligne scapholunaire supérieur à 2 mm traduit ainsi une dissociation scapholunaire (signe de Terry-Thomas) [23].

c. Index

Un certain nombre d'index doivent être vérifiés sur le cliché de face (figure 35).

- L'index radio-ulnaire inférieur : il mesure la différence de longueur entre le radius et l'ulna. Cet index est mesuré entre la perpendiculaire à l'axe du radius, à l'angle médial de la surface articulaire inférieure, et la parallèle tangente à la surface articulaire inférieure de la tête ulnaire. Cet index est normalement très légèrement négatif ($-0,84 \pm 1,23$ mm), le radius descendant légèrement plus bas que l'ulna.
- La pente radiale ou inclinaison radiale : elle correspond à l'angle formé par la ligne perpendiculaire à l'axe du radius et la ligne joignant l'extrémité distale du processus styloïde du radius à la berge médiale du radius. Cet angle est normalement de 16 à 28°.
- La hauteur radiale ou bascule frontale du radius : cet index apprécie l'orientation vers le bas et l'avant de la surface articulaire inférieure du radius. L'extrémité distale du radius est représentée par la superposition de deux lignes : la ligne la plus distale correspond au rebord dorsal de l'extrémité distale du radius, la ligne la plus proximale correspond normalement au rebord antérieur de l'extrémité distale du radius. La hauteur entre ces deux lignes mesure entre 8 et 10 mm.



Figure 35 : Principaux index pouvant être analysés sur un cliché de poignet de face.

L'index radio-ulnaire inférieur : IRU. Cet index est normalement très légèrement négatif ($- 0,84 \pm 1,23$ mm). La pente radiale : angle α . Cet angle est normalement de 16 à 28° . La hauteur radiale : HR. La hauteur radiale mesure normalement entre 8 et 10 mm.

d. Manœuvres dynamiques en inclinaison radiale et ulnaire

La recherche d'une instabilité du carpe se fait sur les clichés dynamiques en inclinaison radiale et ulnaire à partir de la position de face postéro-antérieure. L'intégrité ligamentaire est définie par une mobilité cohérente des os de la première rangée du carpe.

En inclinaison radiale (figure 36), il se produit [27] :

- un raccourcissement du scaphoïde, la projection du tubercule antérieur dessinant un anneau cortical inférieur. Le scaphoïde présente alors un axe pratiquement perpendiculaire à celui du radius ;
- une bascule du lunatum en flexion palmaire, dégageant sa corne postérieure petite et pointue (figure 36 -37) ;
- une petite saillie du versant lunarien du triquetrum ;
- l'effacement de l'interligne scapholunaire.

En inclinaison ulnaire (figure 38), il se produit [29] :

- un dégagement du scaphoïde, effaçant l'anneau cortical inférieur (le scaphoïde effectuant un mouvement d'extension, sa silhouette est allongée et son axe tend à se rapprocher de celui du radius) ;
- un dégagement de la corne antérieure, large et carrée, du lunatum en flexion dorsale ;
- un dégagement des interlignes scapholunaire et lunotriquetral ;
- un recouvrement du lunatum par l'extrémité distale du radius.

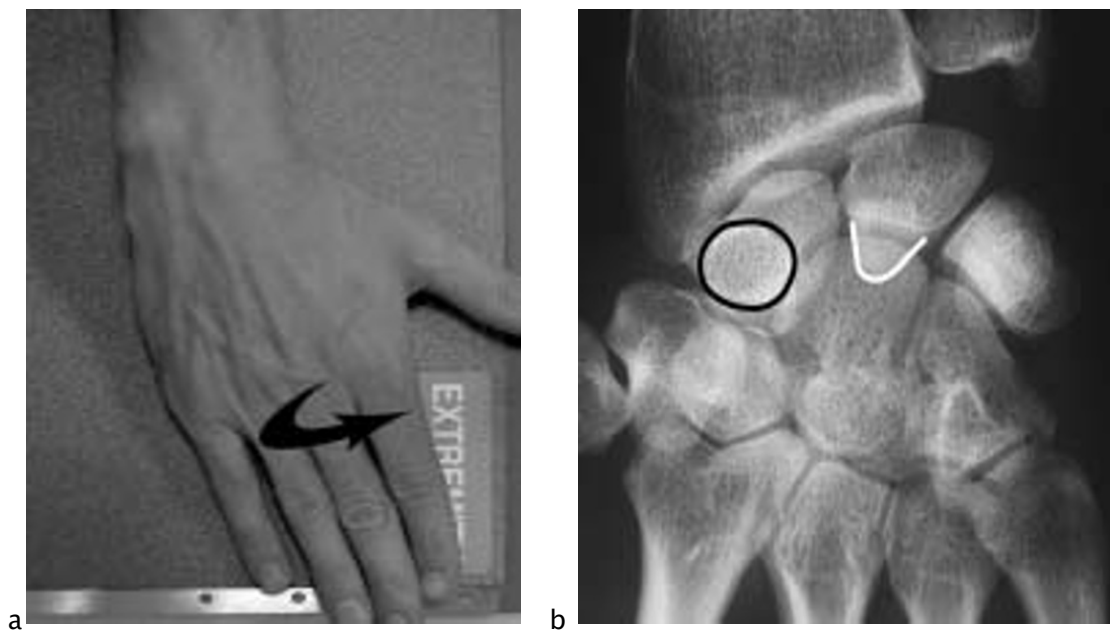


Figure 36 : Positionnement et radiographie du poignet dynamique en inclinaison radiale.

a-b Positionnement du poignet afin de réaliser un cliché dynamique en inclinaison radiale. Notez sur la radiographie, le raccourcissement du scaphoïde, et la projection du tubercule antérieur dessinant un anneau anatomique (cercle). Il existe également une bascule du lunatum en flexion palmaire dégageant sa corne postérieure, petite et pointue.

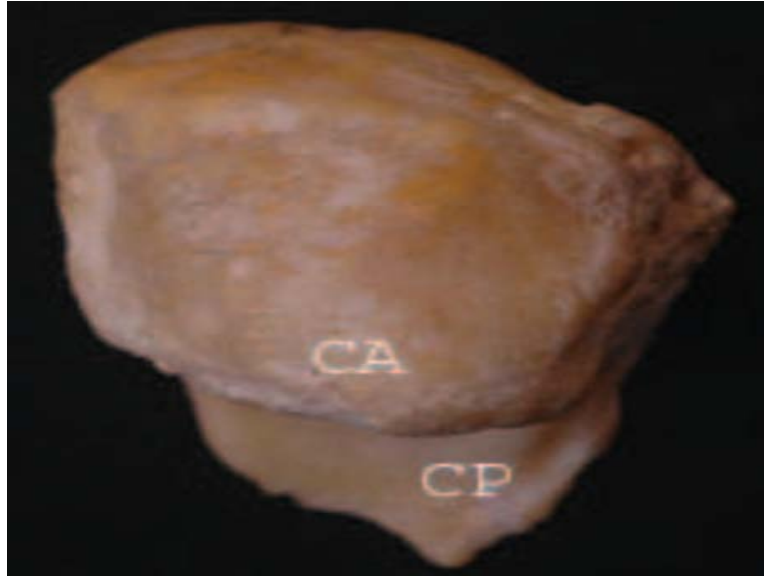


Figure 37 : Vue antérieure d'un lunatum mettant en évidence sa corne antérieure, large et carrée, et sa corne postérieure, petite et pointue.



Figure 38 : Positionnement et radiographie du poignet dynamique en inclinaison ulnaire.

a-b Positionnement du poignet afin de réaliser un cliché dynamique en inclinaison ulnaire. Le scaphoïde effectue en effet un mouvement d'extension, sa silhouette est allongée et son axe tend à se rapprocher de celui du radius. Il existe également un dégagement de la corne antérieure, large et carrée, du lunatum.

1.2. Le cliché de profil (figure 39)

a. Réalisation et critères de réussite

Ce cliché est réalisé de manière strictement orthogonale au cliché de face. Le patient est debout, coude fléchi à angle droit et avant bras horizontal à hauteur de la table. Le poignet est en rotation neutre, immobilisé idéalement avec une planchette fixée à la face dorsale du poignet, l'ulna contre la plaque. Une petite cale en mousse placée sous le bord ulnaire permet d'éviter la légère inclinaison radiale consécutive au positionnement.

Sur un cliché réalisé de façon satisfaisante, les bases des 2^e et 3^e métacarpiens sont superposés, les interlignes carpo-métacarpiens parfaitement visualisés. Les axes du radius et du 3^e métacarpien doivent également être alignés (absence de flexion ou d'extension).

Le radius et l'ulna doivent être superposés avec une styloïde ulnaire se projetant au milieu de la tête ulnaire.

La projection du pisiforme doit se situer au minimum entre la corticale antérieure du sommet du capitatum en arrière et la corticale antérieure du pôle distal du scaphoïde en avant. Dans l'idéal, il se situe au tiers de cet espace (figure 39)

. Nous insistons sur le fait que cet élément est un critère indispensable à valider avant de réaliser des mesures de bascule du scaphoïde et du lunatum.

Il a en effet été montré, chez des sujets asymptomatiques, qu'il pouvait exister une variation de 11 degrés de l'angle lunocapital entre un cliché de profil strict et un cliché imparfait.



Figure 39 : Positionnement et radiographie du poignet de profil strict.

a-b Positionnement du poignet afin de réaliser un cliché de profil strict.

Noter pour le positionnement (a) que le patient présente une flexion à 90 °du coude. Sur le cliché radiographique (b) il existe une superposition du radius et de l'ulna, la styloïde ulnaire se projetant au milieu de la tête de l'ulna.

La projection du pisiforme (étoile) doit se situer au minimum entre la corticale antérieure du sommet du capitatum en arrière et la corticale antérieure du pôle distal du scaphoïde en avant. Dans l'idéal, il se situe au tiers de cet espace. Noter l'alignement des axes longitudinaux du radius, du lunatum, du capitatum et du 3e métacarpien. L'angle scapho-lunaire est tracé et mesuré ici à 60° (normale : 30-70°)

b. Analyse du cliché

L'analyse de la morphologie, du contour et de la densité des os du carpe doit être réalisée de façon systématique. L'analyse des contours osseux est néanmoins plus difficile sur le cliché de profil que sur le cliché de face. Cependant, l'identification des contours du scaphoïde, du lunatum, du capitatum, et du trapèze est réalisable sans difficulté majeure. L'analyse de la face dorsale du triquetrum doit également être systématique car une fracture à ce niveau est presque uniquement visible sur cette incidence.

c. Les repères de la radiographie de profil

- Angles radio-lunaire et luno-capital : sur un cliché de profil, les axes longitudinaux du radius, du lunatum et du capitatum doivent être alignés. Toute perte d'alignement de ces trois os témoigne d'une luxation périlunaire, lunaire ou exceptionnellement médio-carpienne.

Le défaut d'alignement des axes longitudinaux de ces os peut être évalué par la mesure des angles radio-lunaire et luno-capital. Il est possible d'observer de façon physiologique l'existence d'une flexion palmaire du lunatum (angle radio-lunaire ne dépassant pas 15°), compensée par une bascule dorsale du capitatum (et donc un angle luno-capital ne dépassant pas 15°).

La luxation périlunaire est la plus fréquente des luxations intracarpiennes.

Le lunatum constitue le pivot de référence. Lors d'une luxation périlunaire, il conserve son alignement avec le radius, alors qu'il perd son alignement avec le capitatum. Dans la luxation lunaire, il existe une perte d'alignement sur le cliché de profil, entre la surface articulaire distale du radius et le lunatum, alors que le capitatum conserve un alignement normal. Quel que soit le type de luxation, il conviendra de rechercher une fracture associée.

- Angle scapholunaire : il est normalement compris entre 30° et 70° (figure 39)

- Celui-ci est formé par l'intersection des axes longitudinaux du scaphoïde et du lunatum (pour ce dernier, l'axe longitudinal correspond à la perpendiculaire à la tangente passant par ses cornes antérieure et postérieure). En cas d'instabilité scapholunaire, le lunatum bascule en arrière alors que le scaphoïde est horizontalisé : il en résulte une augmentation de l'angle scapholunaire qui dépasse les 70° et réalise la déformation en DISI des Anglo-saxons (instabilité dorsale du segment intercalaire) (figure 40)

- Cette déformation en DISI peut également être consécutive à une fracture du col du scaphoïde avec bascule de son fragment distal (DISI adaptative) [28]. En cas d'instabilité lunotriquétrale, le cliché de profil montre la bascule palmaire du lunatum et une diminution de l'angle scapholunaire (inférieur à 30°), réalisant la déformation en VISI (instabilité ventrale du segment intercalaire).

Rappelons que la mesure des angles n'est valable que si le cliché de profil est strict.

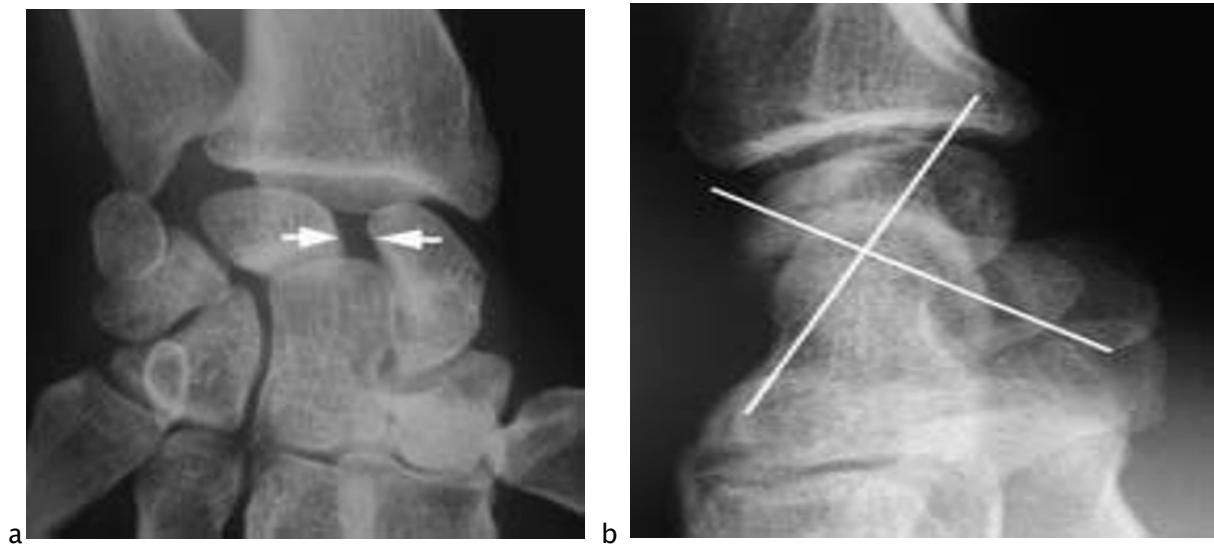


Figure 40 : Radiographies d'un poignet gauche.

a De face, notez le diastasis scapho-lunaire (flèche).

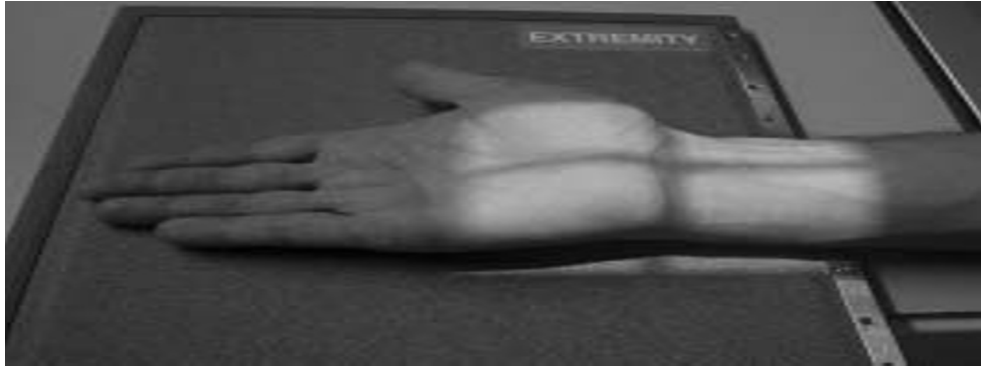
b De profil, l'angle scapho-lunaire est mesuré à 82° signifiant un DISI.

1.3. Incidence de face en supination ou dos-plaque (figure 41)

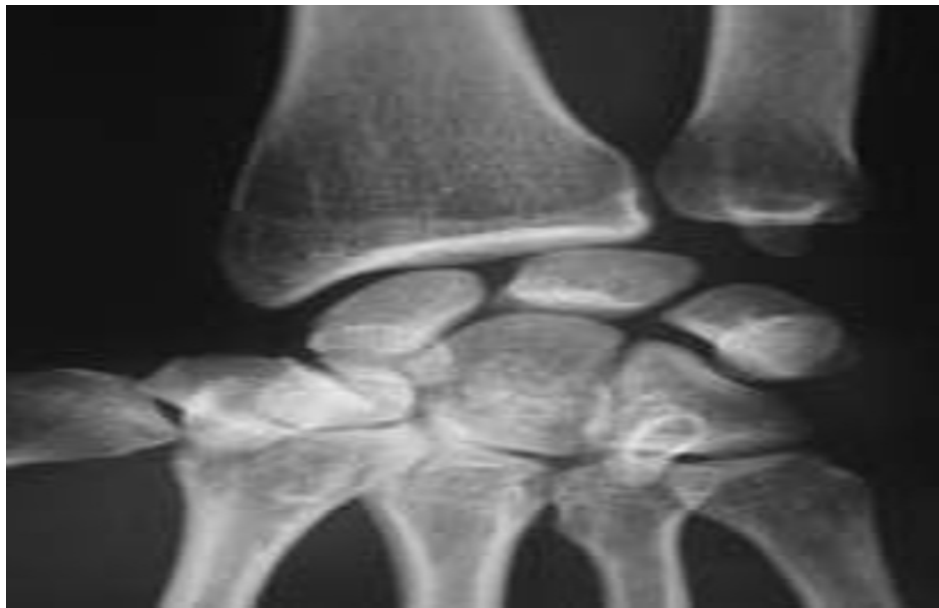
Cette incidence est réalisée en position assise, la main en supination.

La main et l'avant-bras sont posés sur la table, le majeur dans l'axe du bras, sans inclinaison radiale ou cubitale. Les doigts sont en extension, le pouce en abduction (ce qui évite la pronation). Le poignet est visible dans son intégralité, y compris l'extrémité inférieure de l'avant-bras et les extrémités proximales des métacarpes.

Cette incidence permet une meilleure étude des interlignes articulaires entre les divers os du carpe. Elle est surtout utilisée en pathologie rhumatologique. Elle permet notamment une meilleure étude de l'espace scapho-lunaire et du scaphoïde, ainsi que de l'interligne hamatum-capitatum. Le pisiforme est de topographie médiale par rapport au film paume-plaque.



a



b

Figure 41 : Positionnement et radiographie du poignet réalisée en supination (dos-plaque).
Notez la projection de la styloïde ulnaire au milieu de la tête de l'ulna ainsi que la topographie médiale du pisiforme. Cette incidence permet une meilleure étude des interlignes articulaires entre les divers os du carpe, notamment de l'interligne scapho-lunaire et de l'interligne hamatum-capitatum.

III. RAPPEL BIOMIECANIQUE:

1. Introduction

La région carpienne représente par le nombre élevé de ses articulations un complexe fonctionnel qui doit transmettre de façon harmonieuse les contraintes mécaniques et permettre

une grande mobilité au cours de la préhension. Cet ensemble de 15 articulations par sa cohérence spatiale assure un équilibre spatial qui ne supporte pas la moindre malposition sous peine d'un dysfonctionnement global. [16]

Il y a deux manières de considérer la biomécanique du poignet :

- La classique, qui considère le carpe comme formant un bloc, le massif carpien, avec cependant des mouvements entre les deux rangées des os du carpe, au niveau de la médio-carpienne ;
- La moderne, pour laquelle le carpe possède une géométrie variable, les mouvements élémentaires entre les différents os modifiant ses dimensions et sa forme même au cours du mouvement.

Nous exposerons les deux conceptions, car la moderne complète et éclaire la classique.

1.1.La conception classique

Dans cette conception, le carpe forme un bloc quasi indéformable, le massif carpien, articulé à la glène anti-brachiale par le condyle carpien et tout juste scindé en deux composants par la médio-carpienne.

L'axe de flexion-extension passe dans la tête du grand os, et les amplitudes se répartissent : dans la flexion : 50 ° dans la RC et 35 ° dans la MC ; dans l'extension : 35 ° dans la RC et 50 ° dans la MC.

L'axe d'adduction-abduction passe par le col du grand os, et les amplitudes sont de : 45 ° pour l'adduction : le condyle carpien glisse sous la glène, le semi-lunaire se déplace en dehors franchissant la crista transversa et l'espace cubito-pyramidal diminue.

Le mouvement se répartit en 20 ° dans la RC et 25 ° dans la MC. 15 ° à 25 ° pour l'abduction (15° dans la RC et 10 ° dans la MC) : le déplacement inverse du condyle carpien entraîne le semi-lunaire sous la RCI et l'espace cubito-pyramidal augmente.

Cependant, on s'aperçut rapidement [7] que des déplacements complexes et associés intervenaient dans la médio-carpienne : lors de la flexion, la rangée supérieure subit une abduction, compensée par une adduction de la rangée inférieure ; lors de l'extension, les composantes sont inverses, adduction dans la supérieure, abduction dans l'inférieure. Lors de l'abduction, la rangée supérieure bascule en flexion et l'inférieure se redresse en extension ; lors de l'adduction, l'inverse se produit.

Plus récemment, des études radiographiques précises ont défini trois notions [29]:

- la variabilité de position des axes suivant les individus : ils s'échelonnent du col du grand os l'interligne radio-carpien, tant pour la flexion que pour l'extension ;
- la variabilité des axes instantanés au cours même du mouvement ;
- la situation antérieure de l'axe de flexion-extension, en avant du grand os ; cette position, en plein canal carpien, explique par la différence des moments d'action la différence de force entre les extenseurs et les fléchisseurs et l'absence de composante de flexion sur le poignet des fléchisseurs des doigts.

1.2.La conception moderne

A la conception du carpe monobloc, s'oppose celle du carpe à géométrie variable des auteurs modernes [1, 7, 29, 30, 31, 32, 33, 34]: grâce aux mouvements élémentaires des articulations entre les différents os, le carpe, à tout moment, comme l'avait déjà soupçonné Gallien, modifie sa forme pour s'adapter aux contraintes et conserver sa cohésion interne, sa cohérence spatiale.

Ce délicat équilibre dynamique peut être compromis par la moindre rupture ligamentaire ou un changement minime de forme d'un os, qui retentit sur l'ensemble de l'édifice.

Ceci entraîne la modification de la notion de colonnes longitudinales, au profit d'une structure plus fonctionnelle :

- pour Navarro, la colonne externe reste identique (scaphoïde + trapèze + trapézoïde), la colonne moyenne s'adjoit l'os crochu (semi-lunaire + grand os + os crochu) et la colonne externe se réduit au pyramidal associé au pisiforme ;
- pour Taleisnik [14,35], l'importance des mouvements propres du scaphoïde et du pyramidal lui fait englober dans la colonne moyenne le semi-lunaire et tous les os de la rangée inférieure, la colonne externe étant représentée par le scaphoïde seul et l'interne par le pyramidal et le pisiforme.
- pour Kuhlmann ; [36,37] il a introduit la notion de carpe ou « condyle à géométrie variable » pour faire référence à l'adaptation physiologique du carpe. Le carpe est soumis à des forces orientées dans trois directions principales :
 - Une force longitudinale liée à la contraction musculaire et aux sollicitations extrinsèques à l'origine de la bascule palmaire du scaphoïde, de l'inclinaison dorsale du semi-lunaire et donc du raccourcissement de la hauteur du carpe.
 - Une force médiale ayant tendance à provoquer l'inclinaison médiale de la première rangée et donc la bascule latérale du poignet.
 - Une force palmaire ayant pour conséquence la bascule dorsale de la rangée proximale et donc du semi-lunaire et l'expulsion palmaire du carpe.

En 1995, Craigen [38] s'interroge après avoir étudié 52 poignets d'hommes et de femmes. Il retrouve une différence d'organisation de la structure du poignet, les femmes ayant plus tendance à avoir une organisation en colonne, et les hommes en rangée.

Toutefois il ne conclut pas à l'utilisation clinique de cette constatation.

Gellman en 1988 [39] avait essayé, par l'analyse de 12 poignets cadavériques d'identifier la part de l'articulation RC et MC dans les mouvements globaux du poignet normal et arthrodésé. Ainsi la part de l'articulation radiocarpienne dans les mouvements de flexion du poignet était de 63% contre 36% pour la MC; respectivement dans les mouvements d'extension, le rapport était de 53% contre 46%.

L'utilisation d'outils modernes comme le scanner, a permis d'appréhender la biomécanique du poignet de manière plus précise [40, 41]. Ainsi, Camus [42] étudie la géométrie variable du carpe et le définit comme une double cupule (figure 42). Les mouvements des os sont proches entre les os d'une même rangée et éloignés entre les os d'une même colonne. Les deux rangées ont une amplitude de mouvement bien différenciée l'une de l'autre. Les trois colonnes entre elles ont des mouvements d'amplitude proche.

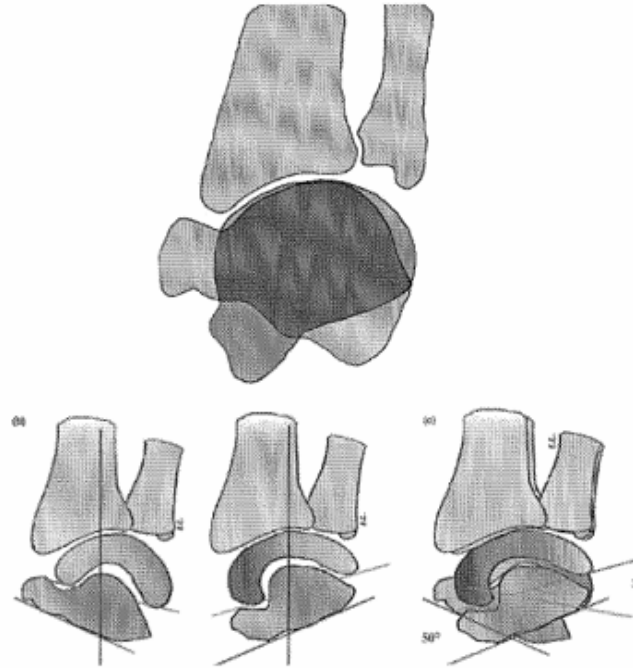


Figure 42: Contours du carpe.

- (a) : massif carpien en inclinaison radio-ulnaire ;
- (b) : rangées carpiennes ;
- (c) : superposition des rangées carpiennes montrant la double bascule

Les mouvements efficaces du poignet, mobilisant la main, se mesurent entre les rangées carpiennes et non entre les colonnes. Les mouvements mesurés entre les colonnes sont des mouvements de torsion intra-rangée, permettant aux deux rangées carpiennes de rester congruentes entre elles et avec la glène radiale. Le scaphoïde décrit un mouvement proche des mouvements du lunatum et du triquetrum; les mouvements sont unifiés au sein de chaque rangée carpienne et le scaphoïde s'inscrit totalement dans la cinématique de la première rangée.

On comprend donc comment le scaphoïde est un élément stabilisateur du lunatum. Ainsi, il est facile de comprendre que si le lien entre le scaphoïde et le lunatum se rompt, le lunatum se trouve uniquement sous la dépendance du triquetrum et bascule en extension : ce qui est matérialisé par le syndrome radiologique de DISI. De la même façon, en cas de perte des attaches entre le lunatum et le triquetrum, le lunatum passe sous la dépendance unique du scaphoïde et bascule en VISI (figure 4).

Enfin, si les liens sont rompus de chaque côté du lunatum, celui-ci est livré à lui-même et se place soit en extension, soit en flexion, soit en position neutre. Ceci revêt d'une importance capitale pour la compréhension des déstabilisations intra-carpiennes lors des lésions des ligaments intrinsèques (scapho-triquétral (SL) et luno-triquétral (LT)) [20-43].

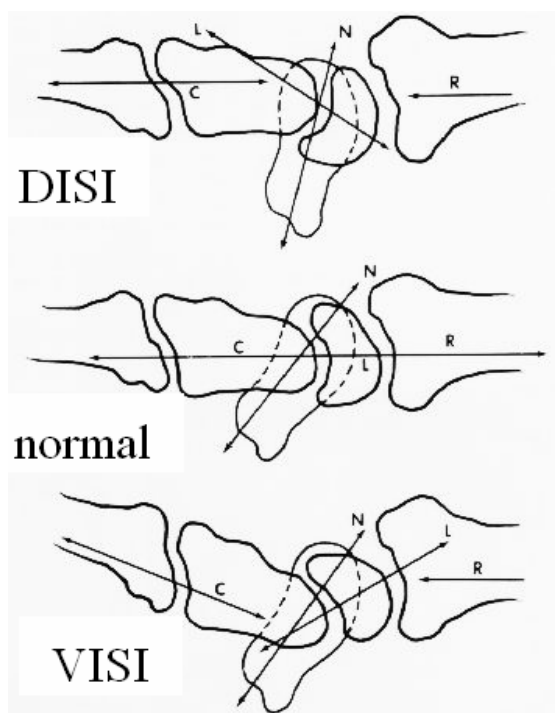


Figure 43: Schématisation de la DISI et de la VISI :

R : radius, L : lunatum, C : capitatum

Entre les deux positions du poignet, la première rangée bascule sous la glène radiale de 27°. La deuxième rangée bascule de 50° par rapport au radius, soit de 23° sous la première rangée carpienne. Le mouvement de bascule de la première rangée carpienne sous le radius et

de bascule de la deuxième rangée carpienne sous la première, les deux bascules ayant des amplitudes voisines, constitue pour Camus le modèle d'une double cupule carpienne. La cupule proximale est composée du scaphoïde, du lunatum et du triquetrum; la cupule distale comporte elle, le trapèze, trapézoïde, capitatum et hamatum [40, 42, 44]. Les mouvements d'abduction et d'adduction du poignet se partagent entre le radius, la première et la deuxième rangée.

Les mouvements entre les rangées donc dans les colonnes permettent les mouvements de la main et sont les plus efficaces; les mouvements entre les colonnes donc dans les rangées sont plus faibles et servent d'adaptateur et améliorent la congruence des interlignes radio et médiocarpien.

La répartition des pressions en cause au sein du carpe n'est pas la même sur le versant radial et sur le versant ulnaire. Celle-ci a fait l'objet d'études aussi bien cadavériques qu'in vivo [45,46]. On peut résumer ces forces par le schéma de Camus [44] (figure 44).

La pression radio-scaphoïdienne (RS) est comprise entre 48 et 55% de la pression totale, la pression radiolunaire entre 30 et 40% et la pression sous le triangular fibrocartilage complex (TFCC) entre 9,7 et 22% ; le radius reçoit ainsi entre 80 et 90,3 % de la pression totale [44].

Le scaphoïde reçoit lui 28 à 30,7 % de la pression venant de la MC par l'intermédiaire du scapho-trapézo-trapézoïdien (STT), 26 à 32 % par l'interligne Scapho-capital. Le lunatum reçoit 26 à 29% de la pression par le capitatum et 10,5 à 17% de la pression totale passe par l'interligne triquetro-hamatal.



Figure 44 : Répartition des pressions intra carpiennes

La colonne radiale avec le scaphoïde est donc le principal transmetteur de pressions dans le poignet.

On comprend donc qu'en cas d'arthrose radio et péri-scaphoïdienne, la suppression du scaphoïde permette une diminution de la pression au niveau de la colonne radiale et donc une diminution des douleurs.

A partir de la position de repos, le poignet dispose de deux degrés de mobilité: [17, 48].

- ❖ Les mouvements de latéralité: l'abduction (ou inclinaison radiale IR) et l'adduction (ou inclinaison ulnaire IU),
- ❖ La flexion (ou flexion palmaire) et l'extension (ou flexion dorsale).

La combinaison, à divers degrés, de ces mouvements va permettre au poignet un large secteur de mobilité. Lors des mouvements de latéralité, les os de la première rangée du carpe décrivent un mouvement harmonieux et synchrone de rotation autour d'un axe dorsopalmaire passant par la tête du capitatum : L'IR, a une amplitude d'environ 15 à 25°, les deux tiers du mouvement ayant lieu au niveau de l'articulation MC. Le scaphoïde bascule selon son grand axe et s'horizontalise, son pôle proximal se dirigeant vers l'arrière, entraînant une diminution de "l'espace utile" entre le bloc trapézo-trapézoïdien et la glène radiale, ce qui permet au trapèze et au trapézoïde de se rapprocher du radius. Le trapézoïde et le deuxième métacarpien étant fermement unis, ceci provoque une traction sur cette unité fonctionnelle.

Le semi-lunaire va légèrement basculer sa corne postérieure vers l'avant (flexion palmaire).

Le pyramidal, quant à lui, glisse le long de sa surface articulaire commune avec l'os crochu, se mettant lui aussi en flexion palmaire. Tous ces mouvements individuels vont se traduire par une mise en flexion de la première rangée des os du carpe.

Lors de ce mouvement, les contraintes mécaniques au niveau du ligament interosseux SL sont importantes.

L'IU, a une amplitude d'environ 40 à 50°, la moitié de ce mouvement ayant lieu au niveau de l'articulation MC. Le scaphoïde va se verticaliser, accompagné d'une légère bascule palmaire de son pôle proximal, entraînant un glissement radial de la première rangée des os du carpe: le lunatum se voit donc imposer une bascule dorsale (extension), tout en basculant vers le dedans, ce qui l'éloigne du scaphoïde. Le capitatum va basculer en dedans au niveau de son extrémité distale et aura tendance à chasser le scaphoïde du côté radial, ce qui augmente l'écart entre le scaphoïde et le lunatum. Le triquetrum va également, lors de ce mouvement, glisser le long de son interface articulaire avec l'hamatum, mouvement qui va se traduire cette fois par une flexion dorsale.

L'association de ces mouvements individuels va se traduire par une mise en extension de la première rangée des os du carpe.

Les mouvements de flexion et d'extension ont lieu au niveau des articulations RC et MC selon une répartition variable. Les os de la première rangée du carpe se déplacent vers l'avant lors de l'extension et vers l'arrière lors de la flexion, de façon conjointe même si l'amplitude de mouvement du scaphoïde est plus importante que celle du lunatum ou du triquetrum (ceci en raison de la structure du ligament interosseux SL qui est plus lâche dans sa partie antérieure que postérieure).

L'amplitude des mouvements de flexion et d'extension est d'environ 85°. Le mouvement de flexion a lieu pour 50° dans l'articulation RC et pour 35° dans l'articulation MC. Le mouvement d'extension a lieu pour 35° dans l'articulation RC et pour 50° dans l'articulation MC.

En flexion, le scaphoïde bascule en arrière au niveau de son pôle proximal, et tend ainsi à s'horizontaliser. Le lunatum, quant à lui, bascule en flexion. En extension, le scaphoïde va se verticaliser et le semi-lunaire va basculer en extension. L'angle SL s'ouvre donc en extension et se ferme en flexion. Lors du mouvement de flexion, la flexion du scaphoïde s'accompagne d'une pronation et celle du semi-lunaire d'une supination. Ce qui tend à rapprocher les deux os.

En extension, le scaphoïde décrit au contraire un mouvement de supination et le lunatum, un mouvement de pronation, ce qui tend donc à éloigner ces deux os. Les axes de mouvements sont transversaux et passent par le semi-lunaire pour la première rangée et par le capitatum pour la deuxième rangée.

Plusieurs travaux expérimentaux [4, 31, 33] ont montré que la mobilité utile pour la réalisation d'activités de la vie quotidienne est inférieure à l'amplitude globale du poignet.

Ceci conforte la pratique d'arthrodèses partielles qui préservent ce secteur utile de mobilité.

De même des études récentes [49, 50, 51] concluent que pour effectuer 70 % des activités courantes, il est nécessaire de disposer de: 5°–40° de flexion, de 30°–40° d'extension, de 10° d'IR ; et 15°–30° d'IU, sachant que l'extension et l'IU sont les secteurs les plus utiles.

Au total, que l'on considère le poignet sous forme de rangées ou de colonnes ou les deux associées, le fait de bloquer comme dans l'ARSL l'articulation RC, entraîne obligatoirement une diminution certes d'amplitude globale du poignet mais aussi une diminution dans la finesse des

mouvements du poignet. La part de la mobilité de la MC dans les mouvements globaux de l'articulation du poignet est au moins égale à celle de la RC, ce qui permet une mobilité résiduelle utile en général. L'exérèse du scaphoïde permet de modifier la répartition des pressions dans le carpe [52,53]; la colonne scaphoïdienne est soulagée au détriment de la colonne lunarienne.

L'idée fondamentale repose sur la notion que la rangée supérieure constitue un chaînon, une structure intercalée qui, par le mouvement élémentaire de ses constituants, va combler à tout instant l'espace utile, << laissé libre >> entre la glène et la rangée inférieure. Comme chaque os de cette rangée est en situation instable, n'étaient les ligaments qui les maintiennent, l'équilibre est menacé en permanence [16].

2. Comportement mécanique général des ligaments

La direction des fibres ligamentaires selon trois axes vertical, horizontal et oblique suffit à elle seule à prévoir la fonction.

Les *ligaments verticaux* ont une fonction de suspension pour les efforts axiaux (port d'une charge) et un rôle dans la stabilisation latérale et antéropostérieure [17].

Les *ligaments horizontaux* maintiennent les courbures de l'ensemble du carpe et constituent des éléments élastiques anti-flambage.

Les *ligaments obliques* sont autant de pivots-rotatoires (pronation-supination). Il existe des regroupements fonctionnels ligamentaires et tendineux. Pour Tubiana [54], Kauer [12] et Landsmeer [11]. Le ligament de la première rangée est en continuité fonctionnelle avec un ensemble radio-scapho-lunaire et cubito-pyramido-lunaire.

Sur le plan tendineux, les tendons du grand palmaire et du cubital antérieur avec son prolongement pisi-métacarpien constituent un système d'équilibre. Dans le même ordre d'idée l'on doit regrouper les ligaments radio-pyramidal palmaire et dorsal, ligament frondiforme qui empêchent le carpe de se luxer en bas et en dedans (médial).

3. Etudes biomécaniques dans la littérature :

Des études sur la biomécanique normale de l'articulation du poignet proximale ont déterminé que le scaphoïde et os semi-lunaire ont, des zones distinctes et séparées de contact sur l'extrémité distale du radius [Viegas et al. 1987] [55] de sorte que les zones de contact ont été localisés et représentent une proportion relativement faible par rapport à la fraction de la surface articulaire, quelle que soit la position du poignet (avec une moyenne de 20,6%). Les zones de contact passent d'un endroit plus palmaire à un endroit plus dorsal que le poignet se déplace de la flexion à l'extension. Dans l'ensemble, la zone de contact du scaphoïde est 1,47 fois supérieure à celle du semi-lunaire.

Le rapport de la surface de contact scapholunaire augmente généralement lorsque la position du poignet est changée de déviation radiale par rapport à cubital et / ou de flexion à l'extension. Palmer et Werner [1984] [56] ont également étudié les pressions dans l'articulation proximale du poignet et constaté qu'il y a trois zones distinctes de contact: la ulno-semi-lunaire, radio-lunaire, et la radio-scaphoïde. Ils ont déterminé que la pression articulaire de pointe dans la fosse cubito-lunarienne est de 1,4 N / mm², dans la fosse radio lunarienne est 3,0 N / mm², et dans la fosse radio scaphoïde est de 3,3 N / mm².

Viegas et al. [1989] [57] a trouvé une relation non linéaire entre l'augmentation de la charge et la zone de contact commun (figure 45).

En général, la répartition de la charge entre le scaphoïde et le lunatum était compatible avec toutes les charges testées, avec 60% de la surface totale de contact impliquant le scaphoïde et 40% impliquant le lunatum. Les charges supérieures à 46 lbs n'augmenté pas de manière significative la surface totale de contact. La zone de contact en général, même aux charges les plus élevées testées, ne dépassait pas 40% de la surface articulaire disponible.

Hori et al. [1990] [58] a calculé le montant total de la force née par chaque articulation du poignet intact dans la position neutre dans le plan coronal et soumis à une charge totale de 143 N. et a constaté que 22% de la force totale dans l'articulation radio-ulnocarpale est dissipée par

le cubitus 14% à travers l'articulation ulno-lunarienne, et 18% à travers l'articulation ulno-pyramidale et 78% par le radius (46% par la fossette scaphoïde et 32% par la fosse lunarienne).

A l'articulation médiocarpienne, l'articulation scapho-trapézienne transmet 31% de la force totale, la scapho-capitatum transmet conjointement 19%, la luno-capitale transmet conjointement 29%, et l'articulation pyramido-grand os transmet 21% de la charge.

Un nombre limité d'études a été réalisé pour déterminer les zones de contact dans l'articulation médiocarpienne.

Viegas et al. [1990] [59] a trouvé quatre domaines généraux de contact: le scapho-trapézo-trapézoidien (STT), le scapho-capitatum (SC), le capito-lunaire (CL), et le triquéto-Hamatum (TH). La zone de contact à haute pression ne représentait que 8% de la surface articulaire disponible avec une charge de 32 lbs et a augmenté à un maximum de seulement 15% avec une charge de 118 lbs.

La surface de contact totale, exprimée en tant que pourcentage de la zone disponible pour chaque fossette était: STT = 1,3%, SC = 1,8%, CL = 3,1%, et TH = 1,8%.

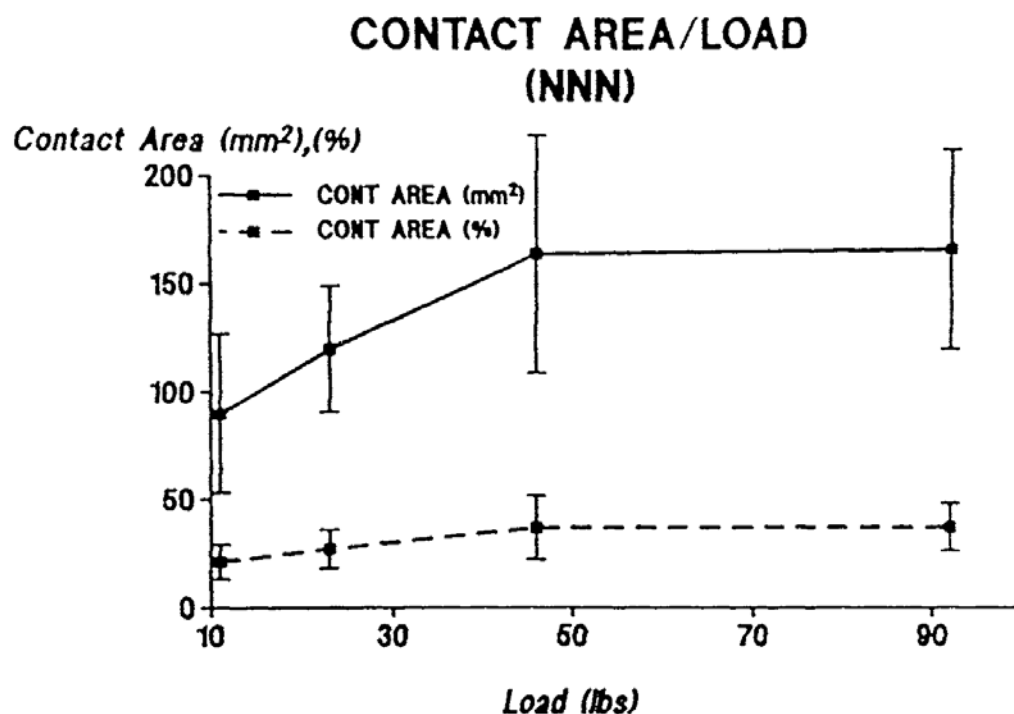


Figure 45: La relation non linéaire entre la zone de contact et la charge appliquée à l'articulation du poignet proximale

Tang et al; [60] dans un travail biomécanique expérimental, a évalué la biomécanique de contact en termes de pression, de superficie et d'emplacement de contact du poignet intact et après la résection de la première rangée du carpe (RPRC).

Le travail a porté sur six avant-bras de cadavres congelés frais, qui ont été testés au point mort, à 45 ° de flexion, et à 45 ° d'extension (Figure 46). Dans le poignet intact, un Fuji film fortement réduit par pression a été placé dans l'articulation radio-ulno-carpale (Figure 47). Le spécimen a été chargé d'une force totale de 200 N. ensuite une RPRC a été effectuée, et l'expérience a été répétée en utilisant le Fuji film réduit. Le film a été numérisé et analysé avec un programme personnalisé MATLAB. L'analyse multivariée de la variance avec des tests de contraste multiple et Student's *t*-test ont été effectués pour les statistiques.

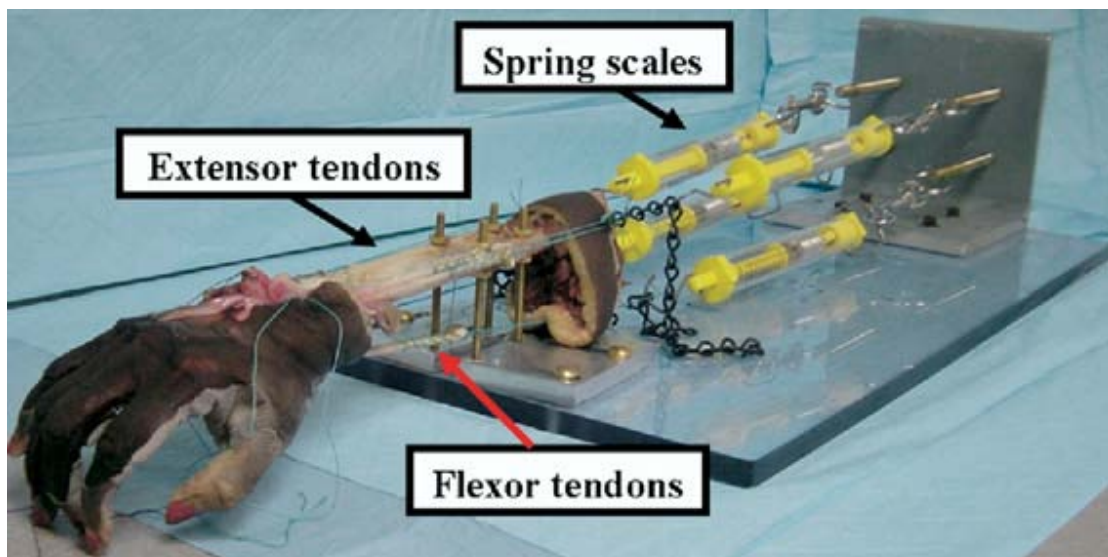


Figure 46: image d'un avant bras cadavérique lors du test de fixation

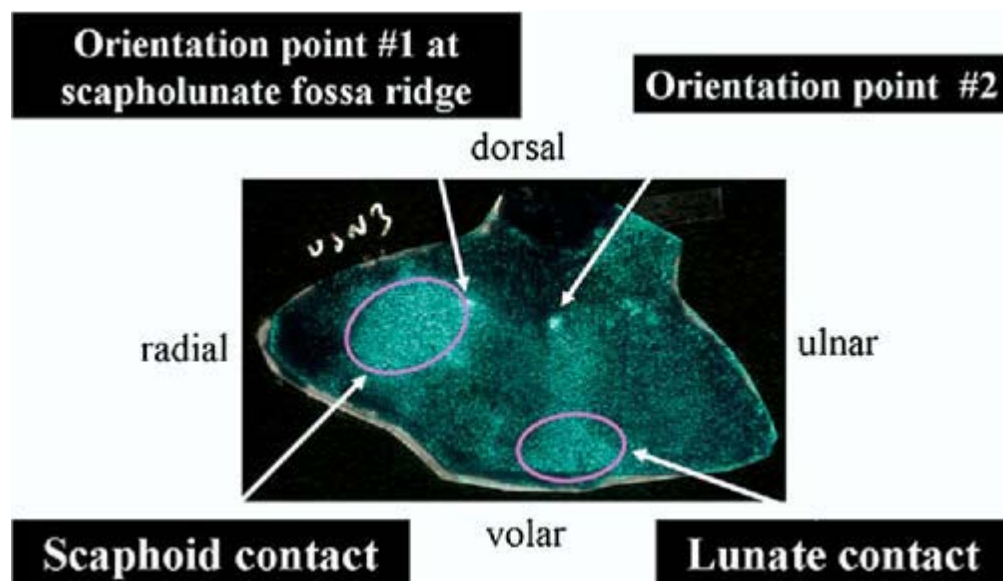


Figure 47: Exemple de Fuji UltraSuperLow film (0.2– 0.6 MPa)

La pression de contact moyenne du scaphoïde et semi-lunaire (poignet intact) était de 1,3 MPa alors qu'après RPRC la pression de contact du capitatum était de 4,9 MPa, ce qui est 3,8 fois celle du poignet intact ($p < 0,05$) (Figure 48).

La surface de contact totale du scaphoïde et semi-lunaire (poignet intact) était de 129,8 mm² alors qu'après RPRC, la surface de contact du capitatum était de 33,7 mm², qui est de 26% par rapport à celle dans le poignet intact ($p < 0,05$) (Figure 49).

L'évaluation de la zone de contact dans la fosse du semi-lunaire, qui est une évaluation du contact du semi-lunaire seul était de (63,3 mm²) dans le poignet intact, par rapport à 33.5mm (53%) après RPRC.

L'évaluation de l'emplacement de contact du semi-lunaire du poignet intact et du capitatum après RPRC tracée sur un graphe (x, y) avec le graphique représentant la surface articulaire du radius distal, démontre que l'emplacement du contact du capitatum rapproche celui du semi-lunaire en extension (Figure 50). Dans la position neutre, le déplacement du capitatum était en radial et dorsal par rapport à celui du semi-lunaire, alors que en flexion, l'emplacement de contact du capitatum se fait considérablement en radial par rapport à celui du semi-lunaire ($p < 0,05$). Dans toutes les positions du poignet, l'emplacement du contact du

capitum était considérablement palmaire et cubital par rapport à l'emplacement de contact du scaphoïde ($p < 0.05$) (Figure 49–51).

En termes de translation de contact, que nous définissons comme la distance totale entre l'emplacement de contact au niveau du poignet entre la flexion et l'extension, la translation de contact du capitatum après RPRC était en moyenne de 7,5 mm, ce qui est une augmentation de 34% par rapport à la translation de contact du scaphoïde, qui était de 5,6 mm ($p < 0,09$). En outre, après la RPRC, le poignet avait une translation égale par rapport à celle du contact de semi-lunaire, qui était de 7,3 mm (Figure 52). Les directions de mouvement étaient comme décrit précédemment; le capitatum se déplace en dorsal et radial en flexion et considérablement en palmaire et ulnaire en extension. Dans le poignet intact, le contact du scaphoïde se déplace considérablement en dorsal et ulnaire en flexion et significativement en palmaire radial en extension ($p < 0,05$), et le semi-lunaire se déplace nettement en dorsal en flexion ($p < 0,05$).

On en déduit que la pression de contact augmente de manière significative et que la surface de contact diminue de façon significative après RPRC. Ce qui est la traduction de l'emplacement de contact après RPRC qui fournit un soutien quantitatif de la théorie selon laquelle un mouvement de translation de la RPRC peut expliquer ses bons résultats cliniques.

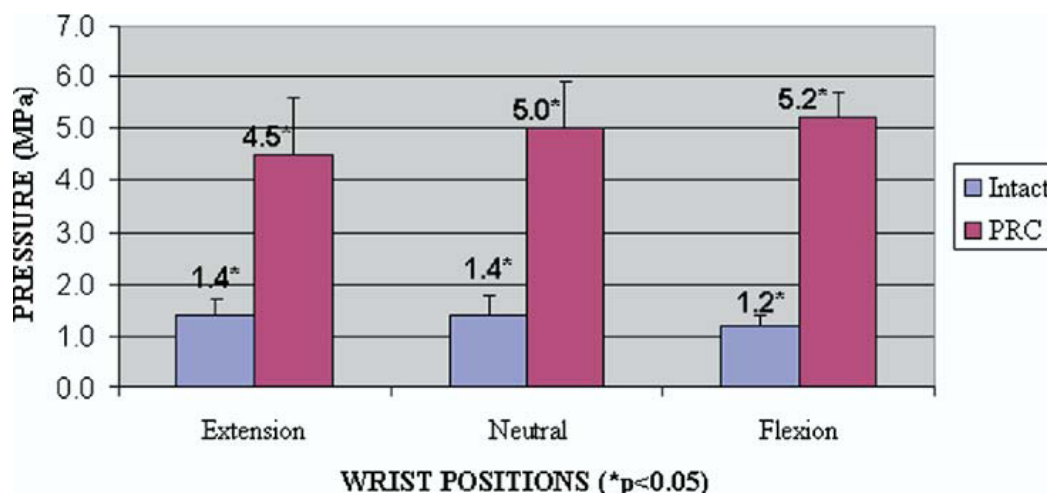


Figure 48: Comparaison des pressions de contact entre poignet intact et après RPRC dans les différentes positions

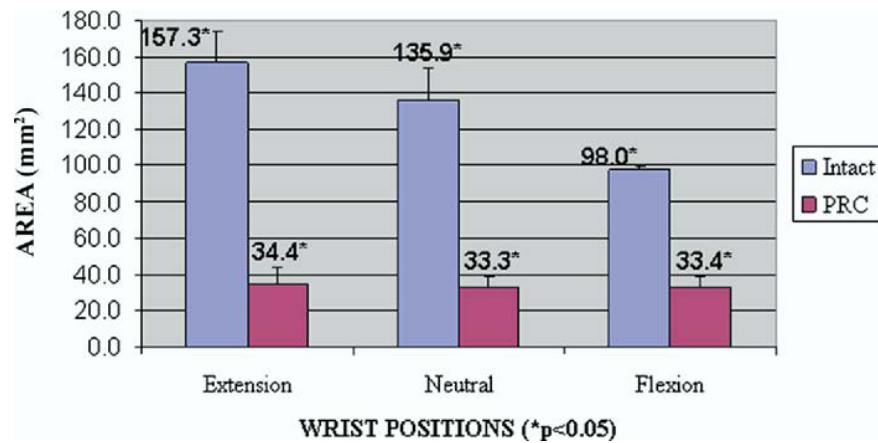


Figure 49: Comparaison des surfaces de contact entre poignet intact et après RPRC dans les différentes positions

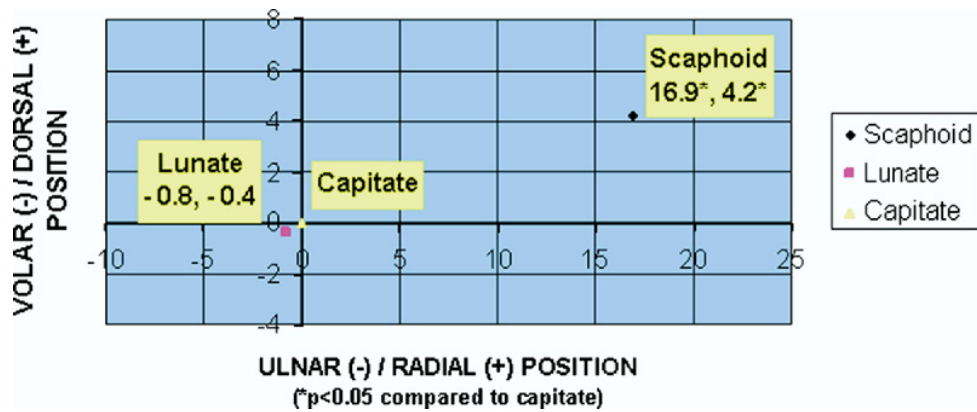


Figure 49: L'évaluation de l'emplacement de contact du semi-lunaire et du capitatum dans le poignet intact et après RPRC tracée sur un graphe x, y avec le graphique représentant la surface articulaire du radius distal

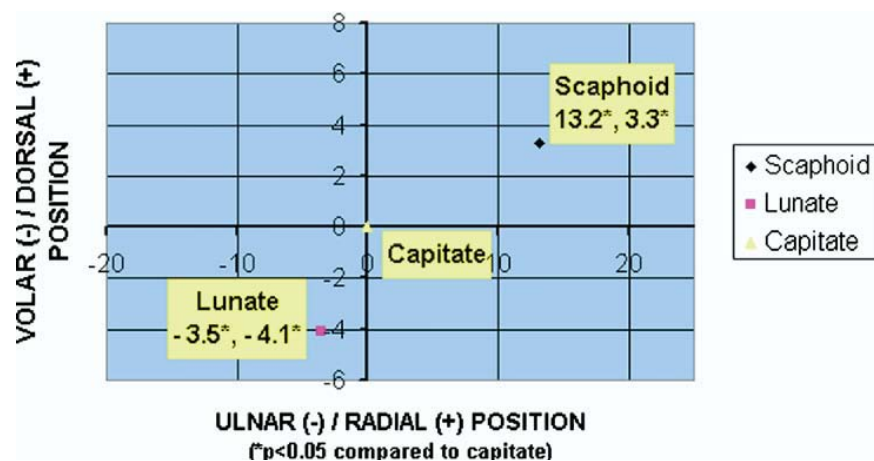


Figure 50: L'évaluation de l'emplacement de contact du scaphoïde, du semi-lunaire et du capitatum dans le poignet intact et après RPRC avec le poignet en position neutre

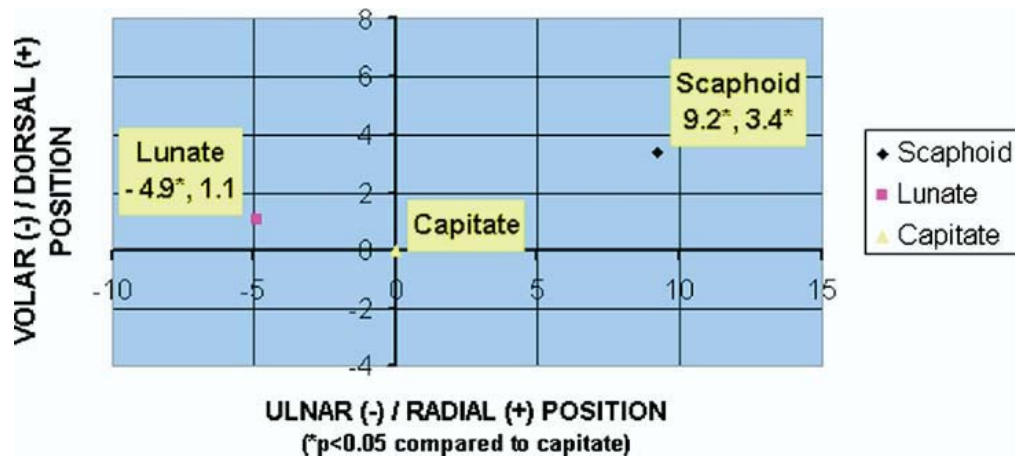


Figure 51: l'emplacement du contact du scaphoïde, semi-lunaire et du capitatum dans le poignet intact et après RPRC

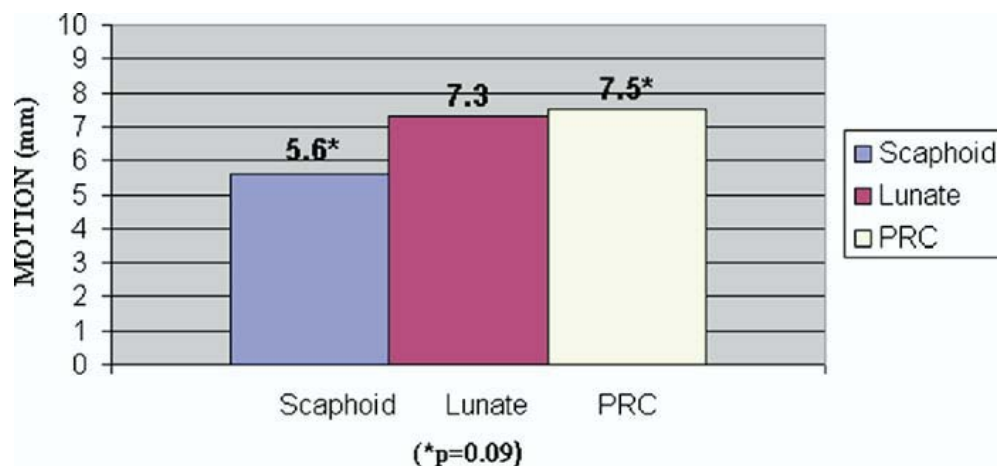


Figure 52: Comparaison de translation du scaphoïde et du semi-lunaire dans le poignet intact et après RPRC

IV. ETUDE GEOMETRIQUE:

1. Représentation géométrique du carpe (Figure 53)

Destot [10] a indiqué un mode de reconstitution simple et commode de ce puzzle fonctionnel permettant de « dessiner les os du carpe et de disséquer, pour ainsi dire, une radiographie de face et de profil de la région ». Sur une ligne verticale représentant l'axe de l'avant-bras, il faut dessiner « une petite quille ou un bouchon de champagne » en repérant la moitié de sa hauteur.

En dedans du capitatum ainsi représenté, un triangle équilatéral figure l'hamatum, avec en son centre un « C » inverse traduction de son crochet. À mi-hauteur du capitatum, on peut tracer une ligne horizontale. Sous celle-ci et en dehors, « un petit écu héraldique », le trapézoïde verra sa silhouette marquée en dehors par un pentagone incliné, le trapèze. Dès lors, en bas, on peut placer les cinq métacarpiens : deux sous l'hamatum, un sous le capitatum, un en « M » sous le trapézoïde et un en « selle » sous le trapèze. Ensuite, il est possible de figurer le squelette antibrachial ; pour cela, il faut tracer une ligne horizontale au-dessus du capitatum, ligne située à une distance environ égale à sa demi-hauteur. On trace un triangle rectangle dont le grand côté est sur cette ligne et le petit côté à l'aplomb de l'angle supérieur du trapèze, de telle façon que le grand côté mesure trois fois le petit côté. Il faut ensuite reporter verticalement sur l'axe de l'avant-bras ce triangle horizontal. Il est facile de compléter la silhouette de l'extrémité distale du radius. Le temps suivant consiste à tracer le processus styloïde ulnaire de telle sorte que la ligne horizontale le coupe en un point médial symétrique du point latéral d'intersection de cette ligne avec le radius. Cette mise en place des os du carpe entre le squelette antébrachial et les métacarpiens met en évidence la complexité mutuelle de leurs rapports.

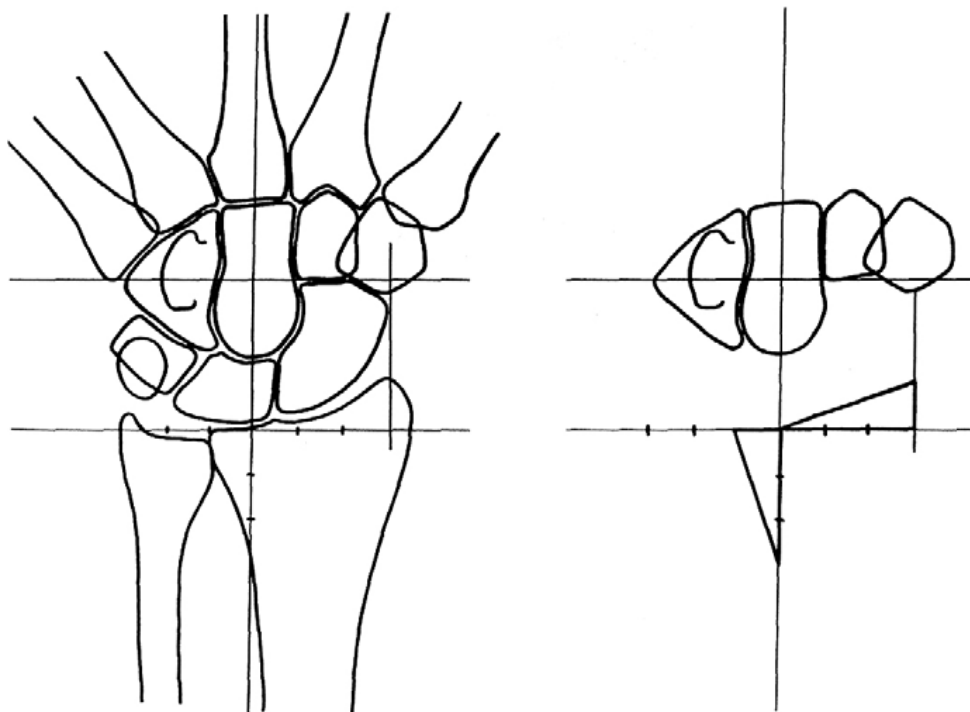


Figure 53: Construction d'une image radiologique du carpe d'après Destot.

2. Géométrie des surfaces articulaires

La géométrie globale des os du carpe a été qualifiée pour saisir la contraction isométrique active des fléchisseurs du coude [Schuind et al. 1992] [61]. Pendant la saisie il y a une migration proximale significative du radius de 0,9 mm, un raccourcissement apparent du capitatum, une diminution du rapport de la hauteur du carpe, et une augmentation de l'indice du semi-lunaire. Il y a aussi une tendance à l'augmentation de la partie distale de l'articulation radio-ulnaire au cours de la préhension.

L'ajout de la flexion du coude avec la préhension concomitante ne modifie pas significativement la géométrie globale, à l'exception d'une diminution de l'espace inter-osseux de l'avant-bras.

3. Etudes géométriques dans la littérature :

camus et al [42], a illustré la géométrie variable du carpe en introduisant la notion du <<carpe à double cupule >> en mesurant dans le plan frontal les déplacements angulaires décrit par chaque os par rapport à un axe vertical passant par le centre géométrique du carpe excepté ceux du pisiforme.

Comme dans la description initiale de Kapandji [16], cette étude repose sur l'analyse de la projection du mouvement des os sur de simples radiographies de 40 poignets droits, sains, de face en inclinaison radiale et ulnaire.

L'axe du radius était tracé en joignant le milieu de deux segments limités par les bords radial et ulnaire du radius, à 2 et 5 cm de l'interligne articulaire. Un axe de référence (R) a été défini parallèle à l'axe du radius et passant par le centre géométrique du massif carpien. Ce centre était tracé sur chaque radiographie par la méthode des cercles concentriques à l'aide d'un calque édité pour l'occasion (figure 54 a et b).

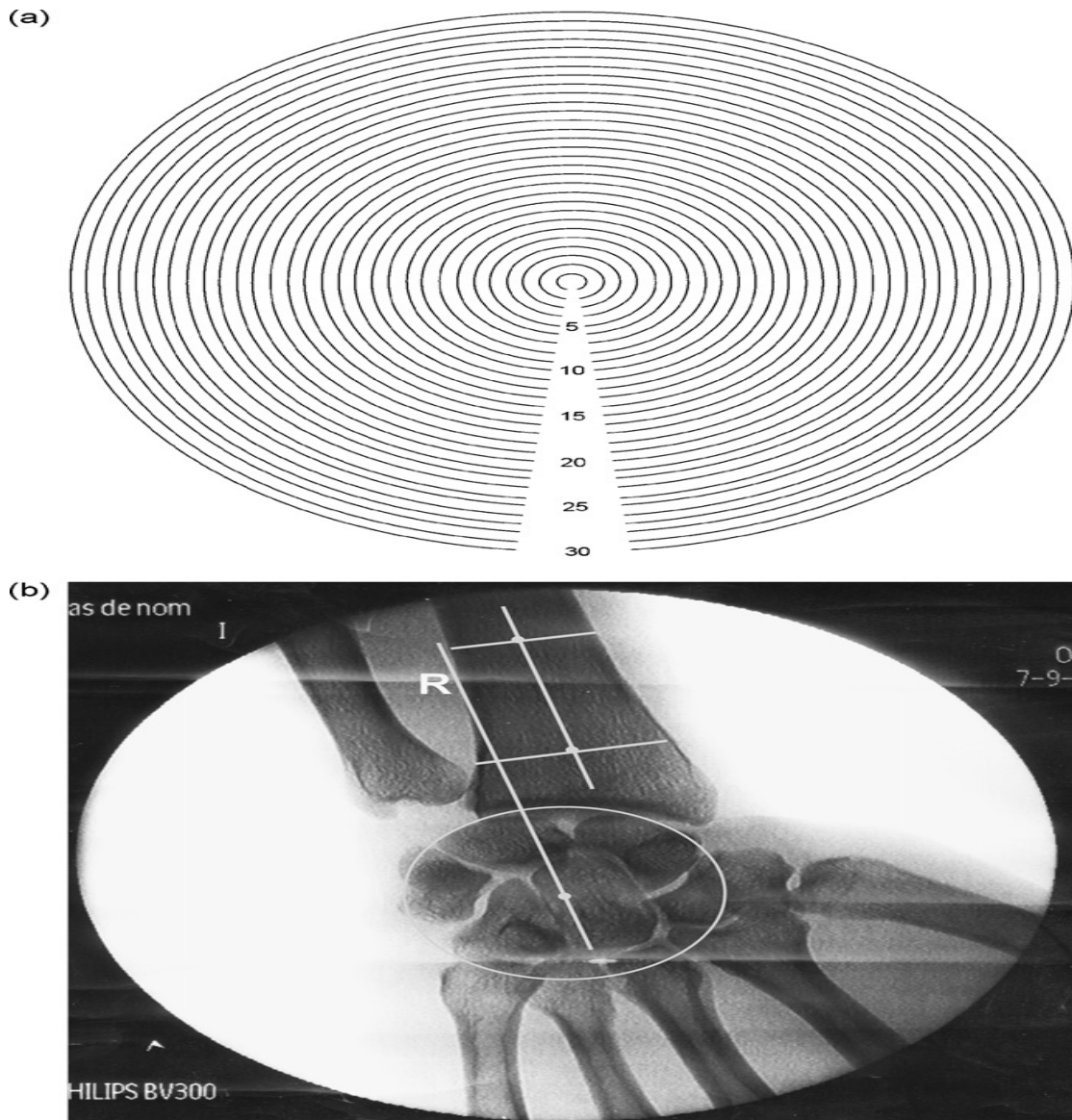


Figure 54: Tracé des repères.

(a) : calque utilisé pour retrouver le centre géométrique du massif carpien ;

(b) : tracé de l'axe vertical.

Un repère était défini pour chaque os du carpe en choisissant un point remarquable facilement visible sur les radiographies dans les deux inclinaisons du poignet. Le repère osseux était l'angle de l'os le plus éloigné du centre géométrique du carpe.

Une droite était tracée entre ce point osseux et le centre du poignet. L'angle inscrit entre cette dernière et le repère vertical R était mesuré dans les deux positions du poignet (Figure 55 a et b).



Figure 55: Axes du lunatum. (a) : inclinaison radiale ; (b) : inclinaison ulnaire.

La variation d'angle entre les deux postures définissait le mouvement angulaire de l'os considéré, entre les positions d'inclinaison radiale et ulnaire du poignet (Figure 56). Un signe positif signifie que l'os suit le mouvement global du poignet, un signe négatif signifie que l'os suit un mouvement inverse au mouvement global du poignet.

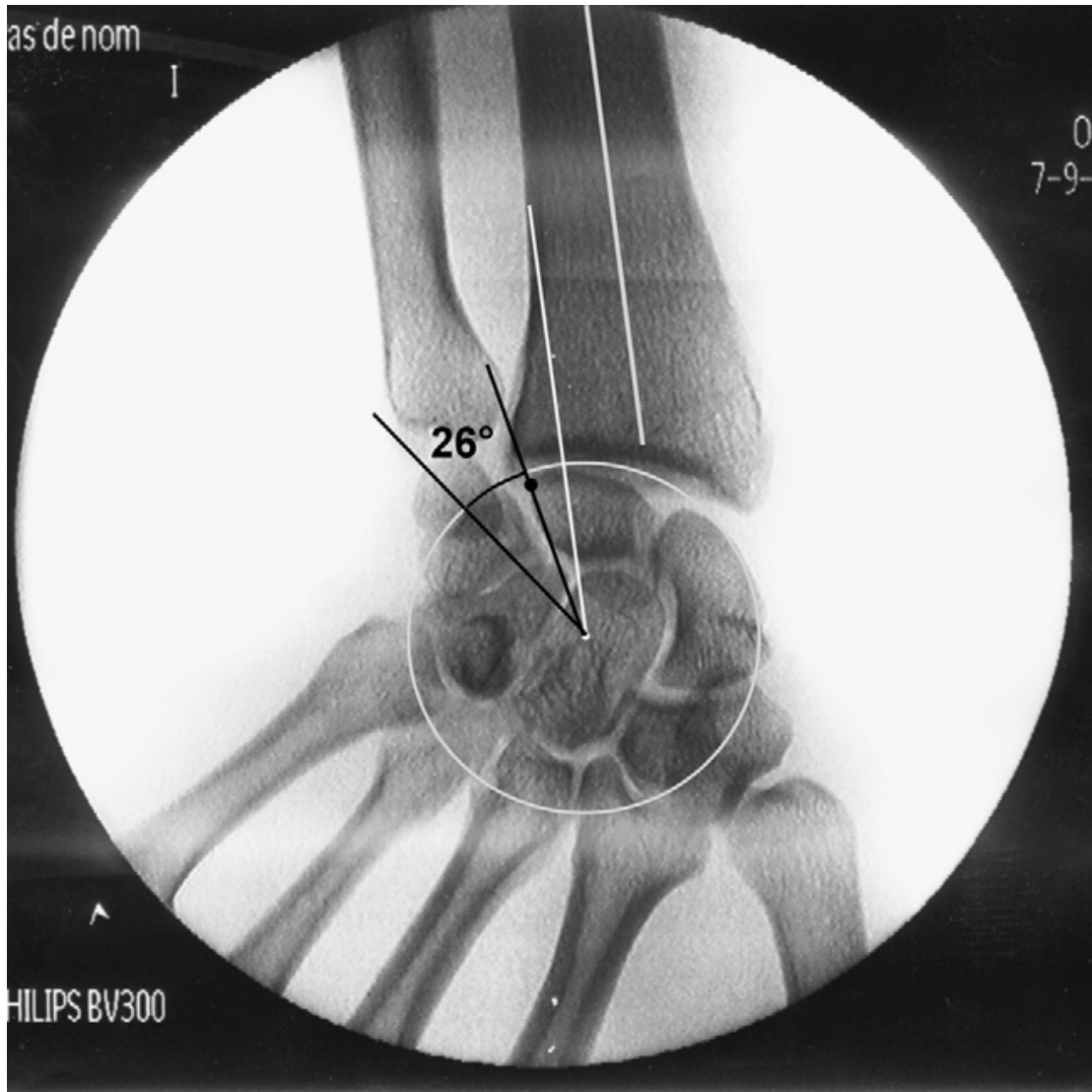


Figure 56: Angle définissant le mouvement angulaire du lunatum, mesuré entre les deux axes (à appliquer à chaque os du carpe).

Le mouvement entre les rangées, puis entre les colonnes carpiennes a été mesuré puis comparé.

Les mouvements angulaires mesurés, arrondis au degré près, ont été les suivants : scaphoïde 26°, lunatum 28°, triquetrum 29°, trapèze 44°, trapézoïde 50°, capitatum 50°, hamatum 56°.

La moyenne d'arc de mouvement pour la première rangée est de 27° et pour la deuxième rangée de 50°.

La moyenne d'arc de mouvement pour la colonne radiale est de 38°, pour la colonne moyenne de 39°, pour la colonne ulnaire de 42°.

On en déduit que les mouvements des os sont proches entre les os d'une même rangée et éloignés entre les os d'une même colonne. Les deux rangées ont une amplitude de mouvement bien différenciée l'une de l'autre. Les trois colonnes entre elles ont des mouvements d'amplitude proche.

Les mouvements efficaces du poignet, mobilisant la main, se mesurent entre les rangées carpiennes et non entre les colonnes. Les mouvements mesurés entre les colonnes sont des mouvements de torsion intra rangées, permettant aux deux rangées carpiennes de rester congruentes entre elles et avec la glène radiale. Le scaphoïde décrit un mouvement proche des mouvements du lunatum et du triquetrum, les mouvements sont unifiés au sein de chaque rangée carpienne et le scaphoïde s'inscrit totalement dans la cinématique de la première rangée.

Le mouvement de bascule de la première rangée carpienne sous le radius et de bascule de la deuxième rangée carpienne sous la première, les deux bascules ayant des amplitudes voisines, constitue pour nous le modèle d'une double cupule carpienne.

4. Notre étude géométrique :

Notre étude est une étude prospective géométrique analysant 111 radiographies de poignets normaux de face et de profil, d'adultes jeunes. Dont le but était de comparer géométriquement les rayons des courbures proximales du lunatum et du capitatum en utilisant un logiciel de mathématique (GeoGebra), et en se référant à la formule mathématique de calcul d'une calotte sphérique ($S = 2\pi Rh$) (Figure 56).

Dans notre étude la mesure des rapports des rayons de courbure du lunatum et du capitatum a objectivé que le rayon de courbure de lunatum est constamment plus grand par rapport à celui du capitatum que ce soit sur les radiographies de poignet de face (rapport de

rayon de courbure de face = 1.84 ± 0.5 ($p < 0.0095$) ou de profil (rapport de rayon de courbure de profil = 1.66 ± 0.43 ($p < 0.0813$)).

Il s'en déduit que la surface du sommet du lunatum est plus grande que celle du capitatum.

Et donc on se référant à la formule $P = F / S$ Avec P : pression (en Pa), F : force (en N), S : surface (en m²) une diminution de la surface suite à une résection de la première rangée du carpe est responsable d'une augmentation de la pression au niveau de l'articulation radiocarpienne.

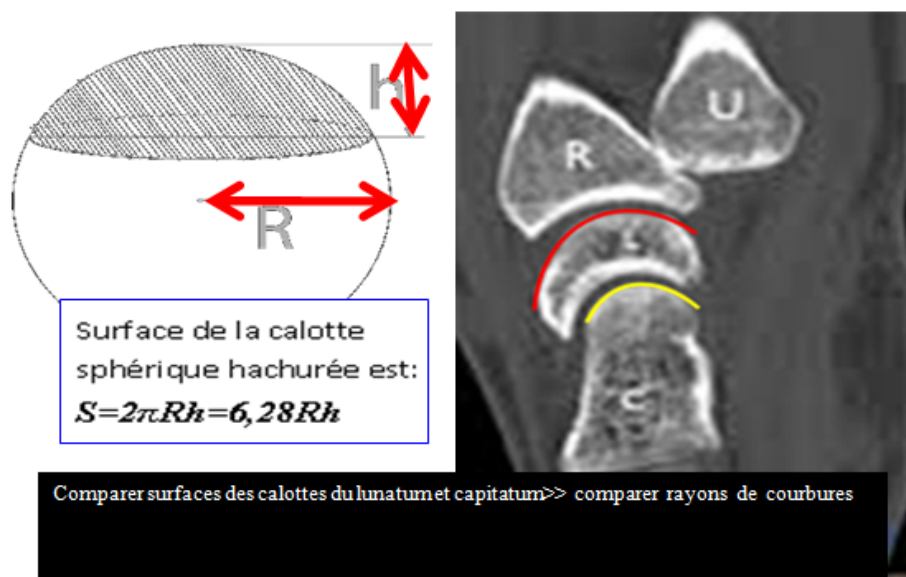


Figure 57: Comparaison des surfaces des calottes du lunatum et capitatum
 Comparaison des rayons des courbures du lunatum et capitatum

5. Limites de l'étude géométrique par radiographie standard :

5.1. Évaluation visuelle du modèle géométrique

L'œil du clinicien se heurte aux difficultés de visualisation de structures tridimensionnelles par des techniques d'imagerie ne permettant de visualiser qu'une projection bidimensionnelle. [1]

La quantification des rapports angulaires et des distances interosseuses est rendue difficile par la superposition des structures osseuses. Les techniques de mesures ont pour points de référence des « points homologues » de détermination aléatoire et arbitraire et sont influencées par l'incidence radiographique.

Ces points homologues sont des points de repères anatomiques pour lesquels l'indice de ressemblance est le plus élevé. Il existe trois types de points homologues :

- ❖ **type I** : points dont la définition correspond à des données onto- ou phylogénétiques (ce sont des points de référence qui ont une signification biologique) ;
- ❖ **type II** : repose sur des bases fonctionnelles et correspond à des particularités morphologiques ;
- ❖ **type III** : points dont les coordonnées sont difficiles à déterminer et sans localisation spécifique (ex. : point le plus bas d'une cavité ou le plus haut d'une saillie osseuse).

5.2. Validité des mesures gold standard du modèle géométrique:

La construction d'angles interosseux et le calcul d'indices de mesures ont permis de comprendre et quantifier les déplacements osseux dans les conditions pathologiques [62, 63, 64, 65,66].

L'inclinaison frontale de l'extrémité distale du radius dans le plan coronal a une valeur normale de 25° pour Friberg et Lundström [67], de 22° pour Taleisnik [14] et 23,8° pour Schuind et al. [68]. L'index de hauteur du carpe (indice de Youm et Mac Murtry [60], difficile à estimer de façon précise, a une valeur normale de $0,54 \pm 0,03$. L'index de translation ulnaire du carpe est de $0,30 \pm 0,03$.

L'écart scapholunaire moyen normal est de 2 à 3 mm (moyenne 2,4 mm [1 à 5 mm]) sur un échantillon de 138 poignets normaux [69].

L'analyse des angles des os du carpe entre eux sur les radiographies de profil a été décrite par la méthode des « barycentres » par Linscheid et al. [70] et selon la méthode dite « tangentielle » [71,72]. Malgré leur précision, les définitions des points homologues et des tangentes sont sujettes à discussion, et la reproductibilité des mesures est relativement faible. Garcia-Elias et al. [52] ne retrouvaient de différence significative, entre la méthode tangentielle et la méthode des barycentres, que sur trois séries de radiographies analysées par sept examinateurs. Ces méthodes ne donnaient que des valeurs indicatives, et la reproductibilité des mesures interobservateurs était de 5° quelle que soit la méthode.

Feipel et Rooze [41] par une méthodologie rigoureuse définissant les valeurs des mesures angulaires sur des radiographies standard en incidence, postéroantérieures retrouvaient des écarts-types variant de 3 à 13°. Robertson et al. [73], pour la mesure des angles radioscapoïdien, scapholunaire et scaphocapitate, observaient que ces valeurs angulaires diminuaient de 50 % pour une supination de 20°.

6. Notre étude par logiciel de mesure mathématique:

La majorité des études géométriques dans la littérature analysant la géométrie du carpe à partir de radiographies standards se trouvent confronter à des difficultés d'interprétation limitant l'analyse géométrique exacte reflétant l'impossibilité de distinguer à l'œil nu une différence de rotation axiale de moins de 20°, ainsi la superposition des structures osseuses du carpe rendent difficiles la quantification des rapports angulaires et des distances interosseuses ajouté aux différences des mesures interobservateurs .

Notre étude d'analyse géométrique a surpassé ces limites d'interprétation radiographique en utilisant un logiciel mathématique et en mesurant les rapports des rayons de courbures du lunatum et du capitatum relatifs afin d'éliminer tout effet d'agrandissement radiologique.

7. L'étude géométrique par tomodensitométrie:

Le développement de la tomodensitométrie permettant d'analyser toute la structure d'un organe sur des coupes axiales a bouleversé l'approche radiologique du corps humain, là où elle n'apportait qu'une projection des structures. L'apport des méthodes de reconstruction tridimensionnelles de type volume *rendering* (technique informatique de reconstruction des volumes primitifs sans conversion intermédiaire des données volumétriques permettant la visualisation simultanée des structures de densités différentes sur la même image) a abouti à un confort d'analyse supplémentaire. Ces deux techniques d'exploration modernes peuvent être un support pour la réalisation de mesures pour quantifier les déformations [1].

7.1.Méthodes d'obtention et procédures de modélisation par algorithmes

La modélisation consiste à définir une série de paramètres quantitatifs qui renseignent sur la géométrie et le positionnement des os du carpe à partir des connaissances de la pathologie.

L'utilisation des informations quantitatives binaires contenues dans les images tomodensitométriques a permis d'effectuer des mesures quantitatives [74]. Viegas et al. [75] s'est intéressé à l'étude de la géométrie carpienne à partir d'images tomodensitométriques. Par la suite, le développement d'algorithmes de reconnaissance des contours et le perfectionnement des logiciels automatisés ont simplifié le traitement et la segmentation des images natives.

a. Solution initiale, point de départ des nuées dynamiques (Figure 58;59):

Pour initialiser l'algorithme, c'est la matrice de dispersion et le centre de gravité de l'objet entier qui sont utilisés (tous les points décrivant l'objet qui sont employés en plus des points de contour). Le trièdre de vecteurs propres de la matrice d'inertie ainsi que le centre de gravité constituent la base locale de l'objet dans laquelle pourront être exprimés tous les autres vecteurs.

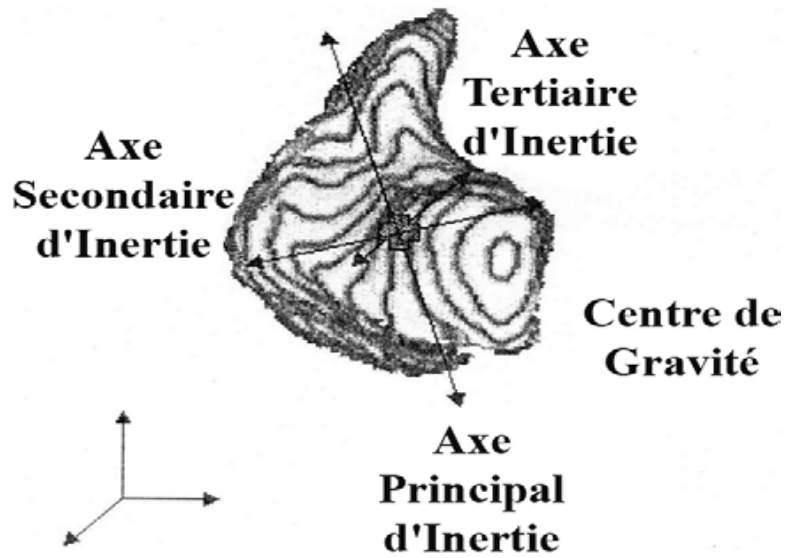


Figure 58: Le nuage est caractérisé par les données extraites de la nuance de dispersion des points, assimilable à la matrice d'inertie dans ce cas.

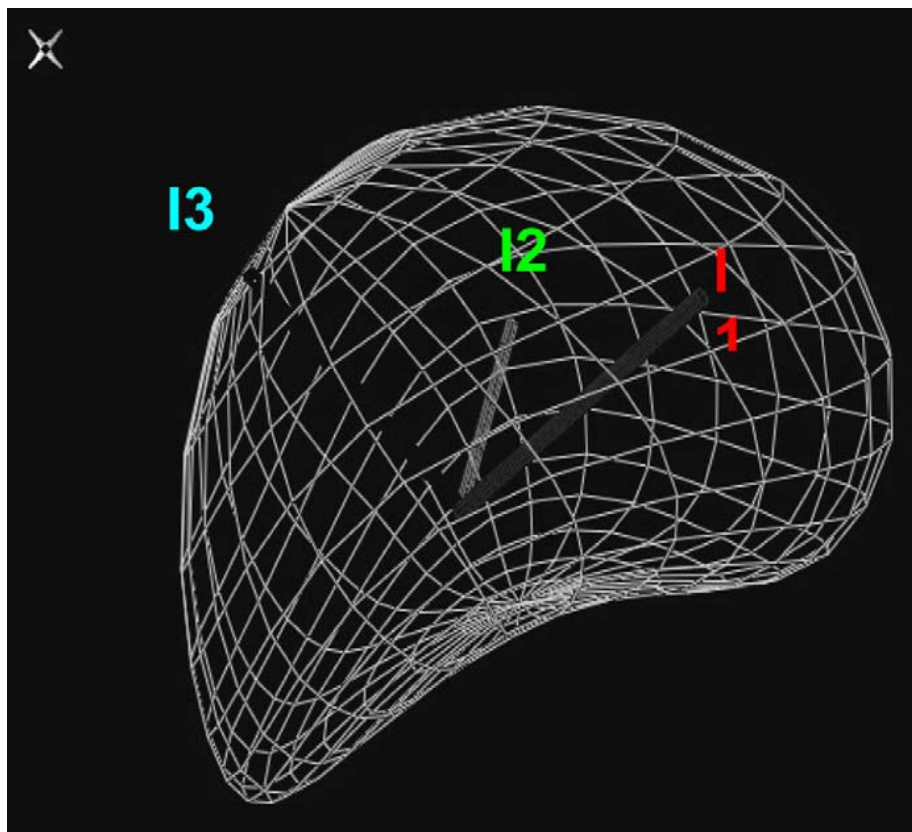


Figure 59: Représentation des axes principaux d'inertie d'un solide ; les trois axes principaux sont orthogonaux dans l'espace ; leur orientation dépend de la distribution de la matière orthogonalement à cet axe.

b. Complexité de l'algorithme progressif (figure 58)

La complexité de l'algorithme progressif est directement liée à celle des nuées dynamiques. Chaque mesure de distance entre un point et un centre de gravité nécessite l'évaluation d'une fonction qui peut s'avérer lourde (cas de la distance de Mahalanobis). Cette technique est un point crucial sur lequel des voies différentes pourraient être explorées, comme le partitionnement par réseaux de neurones ou la mise en place d'heuristiques liées au voisinage (accélération des calculs de distance aux centres de classes). Malgré presque 50 années de recherches dans ce domaine, le problème général de l'automatisation n'est toujours pas résolu et le besoin d'identification automatique et de classification de l'information se fait, de jour en jour, de plus en plus présent [76].

c. Modèles internes de représentation volumique : Axes principaux d'inertie (figure 60;61)

Les données biométriques issues de l'analyse des axes principaux d'inertie constituent « une carte d'identité numérique » pour chaque os.

On caractérise un os par ses paramètres inertiels qui représentent son orientation (technique utilisée en 1989 par Belsole et al. [74]). Tout solide est défini géométriquement par trois axes principaux d'inertie, leur obtention est possible par le fait que chaque os a une forme suffisamment distincte des autres os pour les distinguer un à un (indépendamment des critères de taille ou de volume qui sont moins spécifiques).

Chaque os est défini par un système de trois vecteurs orthogonaux entre eux (ensemble de points de l'espace représentés par les quadruplets (x_r, y_r, z_r, oer) , oer = leur pondération dans R), les axes principaux d'inertie, dont l'origine commune est le centre géométrique de l'os. Ces trois vecteurs représentent l'orientation des axes principaux d'inertie. Les voxels définis par les coordonnées des pixels et l'épaisseur de chaque coupe désignent des éléments de volume au sein desquels les propriétés restent constantes (couleur, densité, position, etc.). C'est un modèle direct puisqu'il stocke explicitement chaque point de l'objet, y compris son intérieur. Les informations rattachées à chaque voxel sont très variables car spécifiques à l'utilisation de ces données.

Les vecteurs définis par leur direction et par leur amplitude ou intensité représentent la façon dont la matière se distribue orthogonalement à cet axe. Une grande intensité indique que la masse de l'objet est dispersée le long de la direction d'axe, alors qu'une intensité faible indique que la masse de l'objet est concentrée en un seul point le long de l'axe. Le premier axe principal d'inertie correspond à l'axe naturel de rotation du solide (ou à la droite de régression du nuage de points formé par le solide). Le deuxième axe secondaire est l'axe d'inertie de la surface pondérée obtenue par projection orthogonale des points du solide sur le plan perpendiculaire à l'axe principal d'inertie. Le troisième axe ternaire d'inertie est l'axe perpendiculaire aux précédents. Leur orientation est très stable car non influencée par les variations de segmentation de quelques pixels sur chaque coupe.

Pour le cylindre, son axe principal d'inertie correspond à son axe de rotation. Pour la sphère, du fait de sa parfaite symétrie, n'importe quel axe passant par son centre peut être considéré comme étant l'axe principal d'inertie. Dans ce cas particulier, il existe un nombre infini d'axes principaux d'inertie.

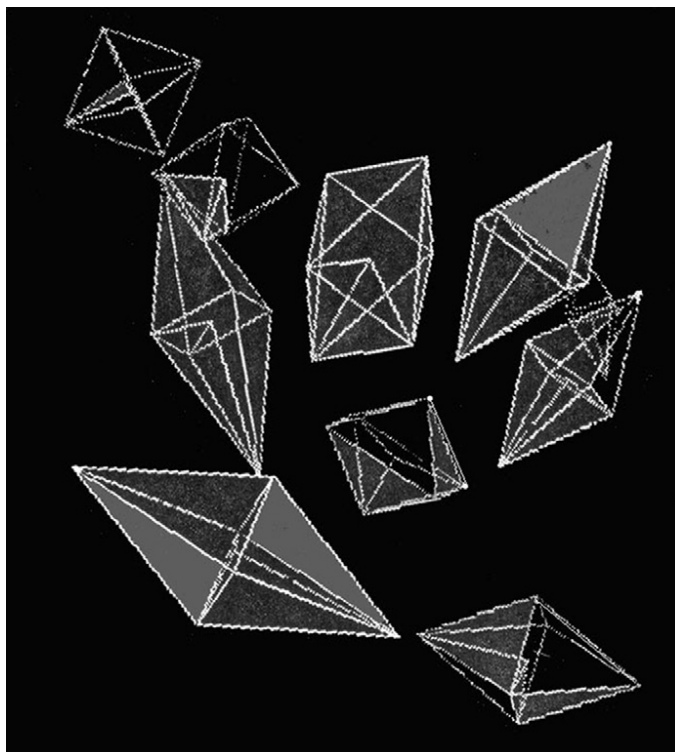


Figure 60: Représentation du modèle géométrique des os du carpe en place.

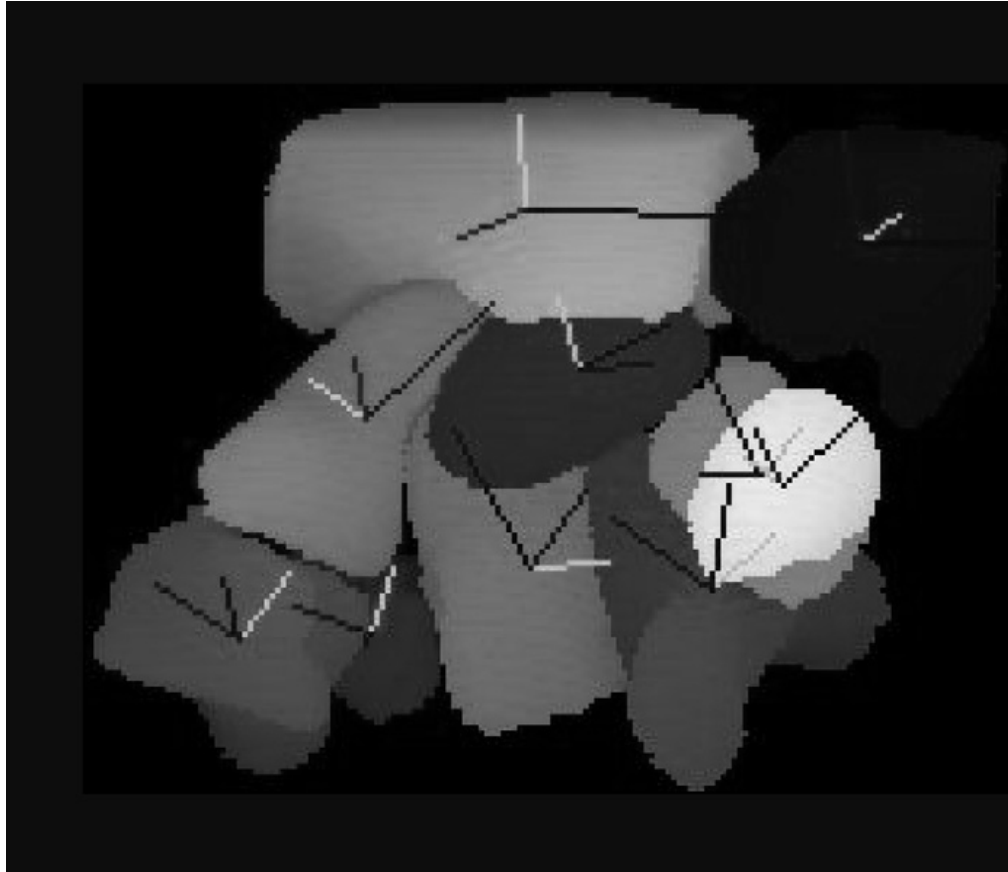


Figure 61: Visualisation des centres géométriques et des axes principaux d'inertie de chaque os : l'origine des repères orthogonaux pour chaque os représente le centre géométrique (ou centroïde). La longueur de chaque segment représente l'intensité de l'axe correspondant.

d. Centre géométrique

Le centre géométrique ou centroïde est défini géométriquement à partir de la distribution des voxels dans l'espace, comme le barycentre de l'ensemble des voxels contenus dans l'objet étudié. Il est confondu avec le centre de gravité si le solide est homogène. En associant l'échelle de densité de chaque voxel à une masse volumique, on calcule le centre de gravité du solide.

e. Distances interosseuses et géométrie carpienne

La distance interosseuse se définit par la distance géométrique entre les centroïdes de deux os. Cette distance est considérée dans le repère 3D d'origine et n'est en aucun cas la projection sur un plan de référence. L'étude [77] des distances interosseuses avec une méthodologie de segmentation osseuse comparable, en prenant comme définition la distance interosseuse la plus

courte distance 3D entre les contours de deux os contigus, est critiquable quand on connaît les variations morphologiques importantes des surfaces articulaires et aucune étude concernant la forme de ces surfaces n'a été réalisée pour appuyer la pertinence de ce critère.

f. Angles interosseux et orientation osseuse

Les mesures angulaires effectuées en pratique clinique sur la radiographie standard sont le plus souvent calculées à l'aide d'une règle graduée et d'un goniomètre. On retombe dans la problématique de la projection en deux dimensions d'une structure tridimensionnelle malgré la rigueur dans le protocole de positionnement du poignet.

g. Projection volumique

Le volume est calculé à partir du nombre de voxels contenus dans la représentation numérique de l'objet. La méthode informatique utilisée dans l'étude des volumes osseux est simple, car en partie automatisée et plus précise que les méthodes par immersion, elle est reproductible car peu dépendante de l'examineur et indépendante du positionnement du poignet.

La projection volumique des données consiste à fournir un affichage complet de l'objet, en décrivant ses structures internes ainsi que sa surface. On parle d'affichage volumique direct car ses données d'entrées sont les voxels eux-mêmes. Des effets de transparence peuvent être utilisés afin de laisser apparaître l'intérieur de l'objet.

Les approches classiques pour ce type d'affichage sont le lancer de rayons et l'éclaté. L'éclaté est une technique utilisée en imagerie médicale (scanner ou IRM) focalisée sur l'augmentation de la vitesse d'affichage et l'emploi d'un algorithme dit de factorisation décalage déforma qui transforme l'objet en une représentation intermédiaire qui va accélérer les calculs. La comparaison des méthodes est à prendre en considération : l'éclaté est le plus rapide, mais ne garantit pas une exhaustivité de l'information, en contrepartie le lancer de rayons est de très bonne qualité, la diffusion autorise l'affichage progressif, mais nécessite une grande puissance de calcul, et le décalage-déformation est la méthode la plus performante en termes de rapport qualité/temps de calcul et peut bénéficier d'un système matériel dédié, même si rien n'existe à l'heure actuelle.

h. Représentation surfacique

Le mode de représentation surfacique est employé lorsqu'une description interne d'un objet n'est pas présente, mais dans le cas contraire il autorise un affichage rapide et le synthétique. Les acquisitions surfaciques sont obtenues avec différents systèmes (télémétrage par laser). D'autres techniques basées sur le même principe permettent de choisir les points à mesurer : la représentation polygonale directe ne décrit explicitement que la surface de l'objet. Ses principaux défauts en tant que modèle de représentation sont l'expression lourde de la surface, l'absence de continuité garantie entre les facettes et l'absence d'indépendance vis-à-vis du changement d'échelle par exemple (si l'on agrandit l'objet, les facettes deviennent d'autant plus grandes, ce qui réduit la précision relative).

7.2.E-squelette

Le squelette ellipsoïdal ou E-squelette est une chaîne de méthodes mathématiques et algorithmiques organisées de manière modulaire : chaque maillon peut être modifié pour satisfaire à des demandes particulières. Des choix pour mettre en place le E-squelette sont nécessaires, et malgré les justifications apportées à chacun d'eux, ils ne sont en aucun cas rigides. Les motivations principales du E-squelette sont de proposer une représentation géométrique compacte, dynamiquement adaptable en qualité selon les besoins, tout en caractérisant le mieux possible un solide tridimensionnel. Regrouper ces critères est complexe car un bon modèle géométrique est peut-être un très mauvais identifiant et inversement. Le but du E-squelette est de proposer un modèle flexible de représentation géométrique.

Les différents champs applicatifs visés sont tout naturellement la reconnaissance automatique et hiérarchique d'objets, la visualisation interactive par niveaux de détails et la compression progressive des données. L'algorithme global de construction du E-squelette, nommé algorithme progressif de partitionnement propose une technique originale et automatique, avec des paramètres intuitifs à mettre en oeuvre. Les seuils, souvent présents dans ce type de méthodes, ont été supprimés de manière à améliorer la robustesse et la simplicité d'utilisation [76].

7.3 Expertise visuelle en 3D (figure 62)

On peut visualiser tous les os du carpe dans les trois plans de l'espace, selon différentes méthodes de reconstruction. À l'aide d'une bounding box (objet tridimensionnel simple englobant un autre objet plus compliqué, afin d'accélérer le calcul d'une image de synthèse et permettant des manipulations rapides des images tridimensionnelles), il est possible de manipuler l'ensemble des objets en 3D afin d'obtenir les angles de visualisation souhaités.

Les options de cette interface permettent de visualiser au choix : les sélections sous forme de points ou de courbes de niveau, les axes d'inertie pour chaque os ou l'ellipsoïde d'inertie correspondante à chaque os. Toutes les sélections sont caractérisées géométriquement de façon automatique : pour chaque os le volume en millimètre cube, les coordonnées du centre géométrique et les axes principaux d'inertie.

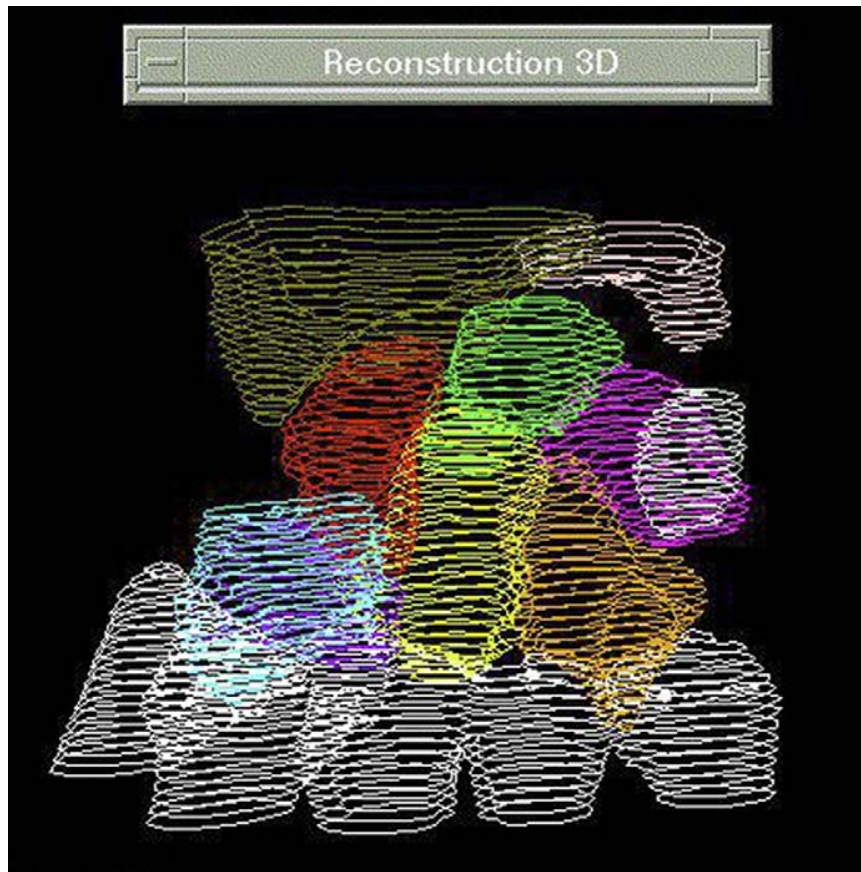


Figure 62: Orientation du carpe dans le repère 3D du scanner. Le repère de référence du scanner est fixe. Le positionnement du poignet dans la machine est primordial pour obtenir des examens comparables.

7.4 Résultats et retombées cliniques de la modélisation (figure 63)

L'utilisation des informations géométriques contenues dans les images donne à l'examineur une analyse objective de sa morphologie. Elle a l'avantage par rapport aux techniques utilisées classiquement (radiographies conventionnelles) de s'affranchir des plans de projections et des erreurs de mesures dues à l'agrandissement radiographique. Les mesures sont reproductibles. Leur précision est directement liée au nombre d'images tomodensitométriques et à l'épaisseur des coupes. Le raisonnement en deux dimensions est un artifice qui apparaît insuffisant pour obtenir des données quantitatives exploitables en pratique clinique avec l'avènement des outils informatiques récents. Il est indispensable de raisonner en 3D afin d'étudier au mieux les déplacements des os du carpe survenant lors des lésions ostéoligamentaires. L'image ne représente plus pour nous que la partie visible de la substance géométrique exploitable.

Cette vision de l'anatomie « géométrique » osseuse tend à balayer la vision déformée que nous avons jusqu'à présent de la réalité osseuse au travers de la radiologie. Les lésions ligamentaires malgré les imperfections des mesures peuvent bénéficier de cette méthodologie. L'étude d'une série plus importante de poignets asymptomatiques permettrait de définir pour chaque paramètre quantitatif des intervalles de normalité et d'obtenir ainsi une banque de données. Ces valeurs pourraient servir de base à l'étude des différentes pathologies osseuses et ligamentaires ainsi qu'à l'étude de l'anatomie comparée.

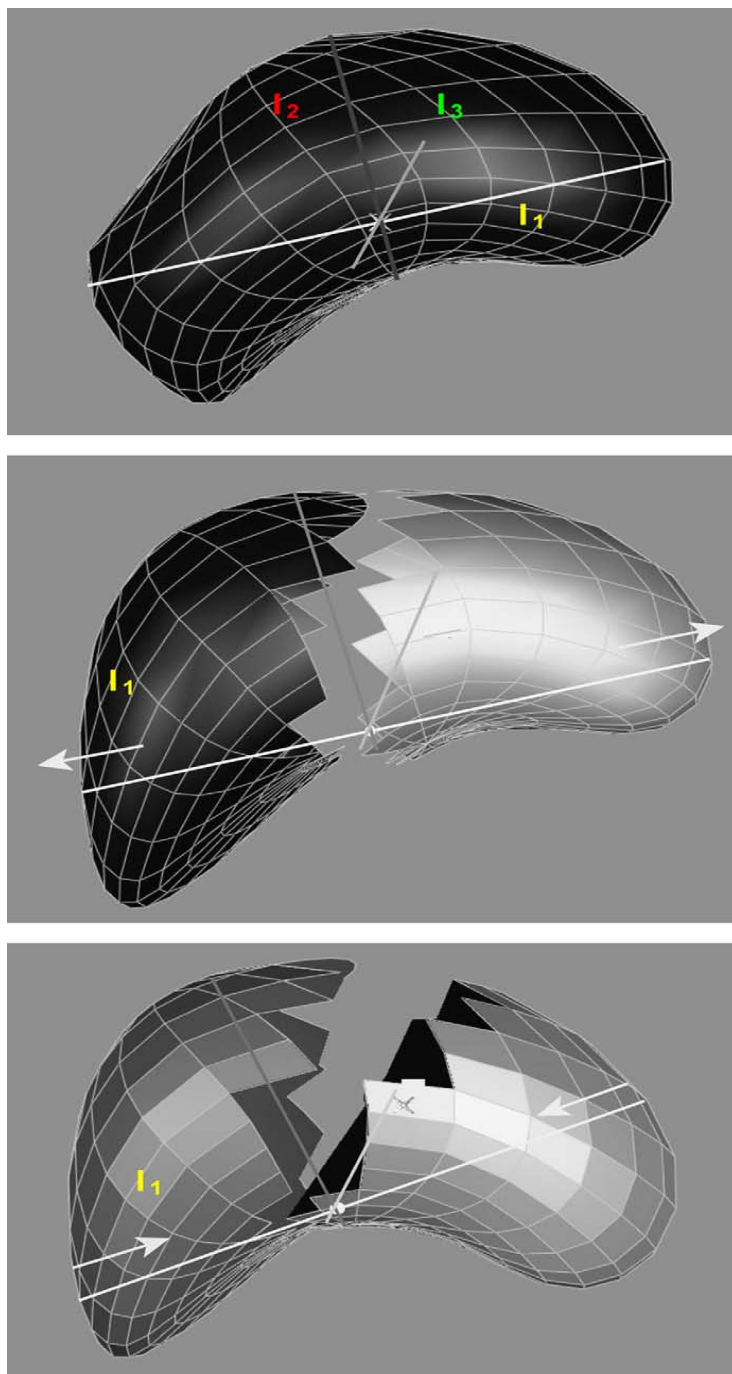


Figure 63: Visualisation du centre d'inertie et des axes principaux d'inertie d'un scaphoïde non fracturé. Visualisation d'un scaphoïde fracturé : le centre d'inertie et les axes d'inertie ont été modifiés par l'écartement des fragments fracturaires. L'intensité d'I1 augmente. Visualisation d'un scaphoïde fracturé avec déplacement en flexion des fragments. L'orientation des axes principaux d'inertie est modifiée. L'intensité I1 de l'axe principal d'inertie diminue.

V. APPLICATIONS THERAPEUTIQUES

La bonne congruence des surfaces articulaire ainsi que le maintien de relations biomécaniques normales entre les facettes articulaires radio et médio carpiennes sont les garants d'une bonne répartition des contraintes sur les surfaces articulaires et permettent théoriquement de prévenir le risque d'arthrose. La réduction des surfaces de contact articulaires augmente proportionnellement les contraintes de pression et expose ainsi à l'installation d'arthrose ($\text{Pression} = \text{Force} / \text{Surface}$). Aussi, les interventions chirurgicales palliatives comme les arthrodèses intra carpiennes avec résection du scaphoïde et ou du triquetrum ainsi que la résection de la première rangée du carpe modifient la surface de contact radio carpienne. Plusieurs travaux ont comparé la résection de la première rangée du carpe et l'arthrodèse des quatre os du carpe. Il s'agissait d'une comparaison clinique et biomécanique.

1. Etudes de comparaison biomécanique:

Tang et al [78] en continuation avec l'étude biomécanique précédente qui compare le contact mécanique du poignet intact et après RPRC. Et où le poignet après RPRC a eu significativement plus grande pression et plus petite surface de contact par rapport au poignet intact.

Dans la présente étude, et en utilisant le même protocole de recherche, il compare la biomécanique de contact du poignet après l'excision du scaphoïde et arthrodèse des 4 os du carpe (capitatum-hamatum-lunatum-triquetrum) (AOC), et après RPRC.

1.1.Excision du scaphoïde, AOC:

La pression de contact et la surface: La pression de contact après excision du scaphoïde et AOC moyenne est de $3,5 \pm 0,5$ MPa dans les 3 positions du poignet et ne diffère pas significativement entre les positions neutre, flexion et extension ($P < 0,38$) (Figure 64).

La surface de contact dans la AOC est en moyenne de $62 \pm 29 \text{ mm}^2$ dans les 3 positions du poignet et ne diffère pas significativement entre les positions neutre, flexion et extension. ($P=0.57$) (Figure 65).

L'emplacement de contact: Dans la flexion du poignet, le point de contact du semi-lunaire dans la AOC était situé en moyenne $5,5 \pm 2,7 \text{ mm}$ plus dorsalement ($P<0.001$) que le point de contact avec le poignet en extension.

Il n'y avait aucun changement significatif dans l'emplacement de contact dans le sens radio-ulnaire parmi les positions de poignet ($P=0,41$).

1.2.RPRC:

La pression de contact et la surface : La pression de contact moyenne après la RPRC est de $4.4 \pm 0,5 \text{ MPa}$ entre les positions du poignet et n'a pas différé sensiblement entre la position neutre, la flexion et l'extension ($P=0,50$) (Figure 64).

La surface de contact est en moyenne $36 \pm 9 \text{ mm}^2$ entre les différentes positions de poignet et ne diffère pas significativement entre le poignet en positions neutre, flexion et extension ($P=0.63$) (Figure 65).

Le point de contact : Dans la flexion du poignet, le point de contact du capitatum dans la RPRC était situé en moyenne $4.1 \pm 2,4 \text{ mm}$ plus dorsale ($P=0,01$) et $5,0 \pm 3,4 \text{ mm}$ plus radial ($P=0.03$) que le point de contact avec le poignet en extension.

1.3.AOC contre RPRC:

La pression de contact et la surface : La pression de contact après la RPRC était nettement plus élevée de 25% par rapport à la pression de contact après AOC ($P<0,001$) (Figure 64). La surface de contact après RPRC était significativement moins de 43% par rapport à la surface de contact après AOC ($P<0,001$) (Figure 65).

Le point de contact : Comparaison de l'emplacement de contact du semi-lunaire dans le poignet après AOC et capitatum dans le poignet après RPRC pour chacune des 3 positions du

poignet n'a révélé aucune différence significative (Figure 66). Dans la flexion du poignet, le point de contact du semi-lunaire dans le poignet après AOC était situé 5.6 +/- 2.5 mm plus cubital par rapport au point de contact du capitatum dans le poignet après RPRC.

Dans la position neutre et en extension, il n'y avait pas de différences significatives dans l'emplacement de contact ($P > 0.05$). De plus, la translation de contact n'a pas été significativement différente entre le poignet après RPRC (7,4 +/- 2,8 mm) et poignet après AOC (6,6 +/- 3,2 mm) ($P = 0.60$).

Les mesures du coefficient de corrélation intraclasse pour le point de contact, la pression, et la surface étaient de 0,988 (95% intervalle de confiance, de 0,983 à 0,992).

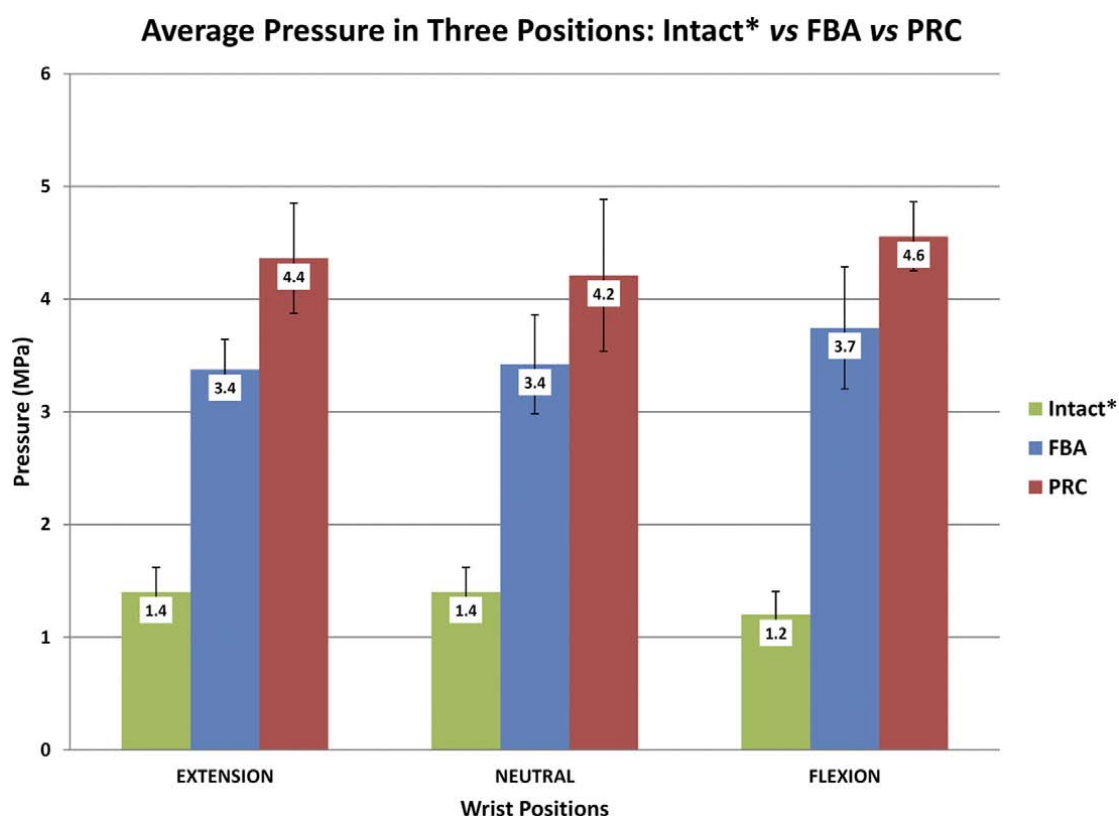


Figure 64: La pression de contact du poignet intact, après AOC et après RPRC.

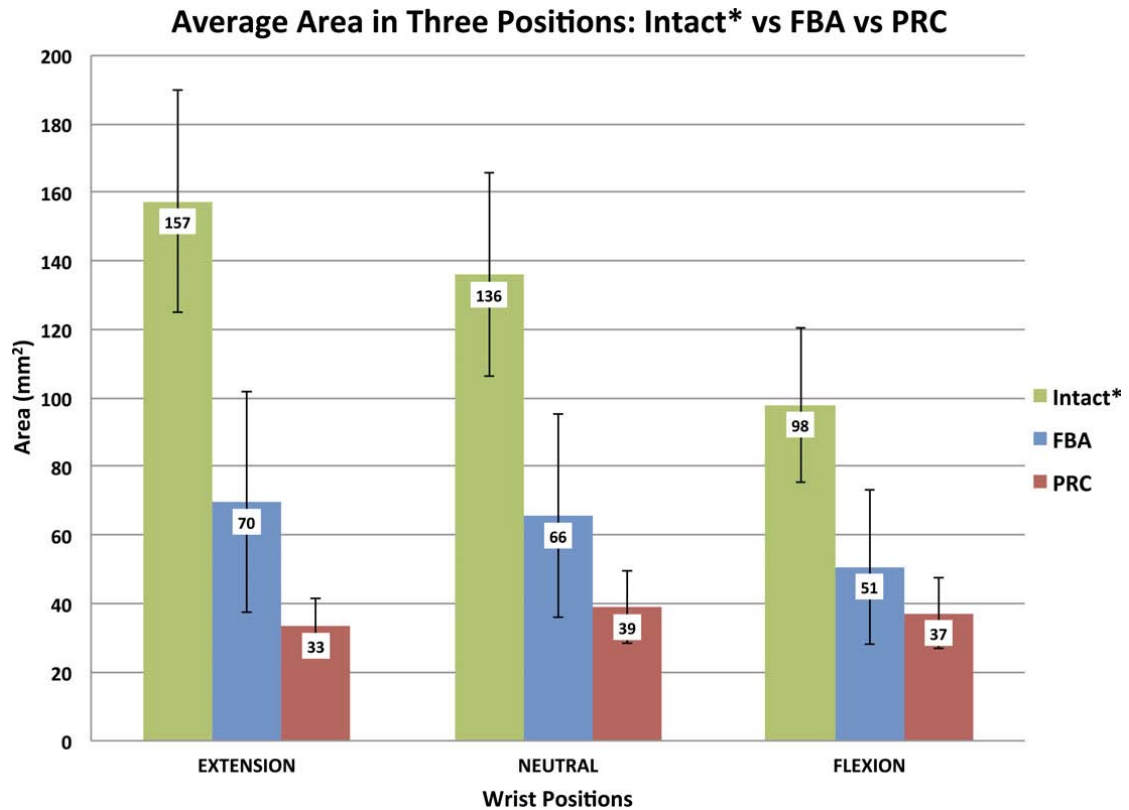


Figure 65: Zone de contact du poignet après AOC et après RPRC en millimètres carrés

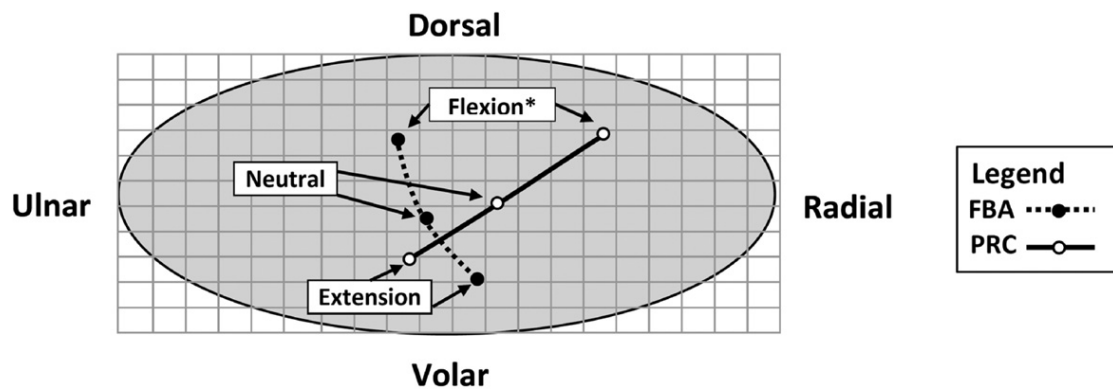


FIGURE 53: Illustration composite de la cinématique de contact du AOC et RPRC. les emplacements de contact moyens sont indiqués pour les 3 positions du poignet (Flexion, neutre, et l'extension) sur une grille représentant 1 mm.

* La seule différence significative des emplacements de contacts entre AOC et RPRC se sont produits dans la position de flexion du poignet.

SCIENTIFIC ARTICLE

Scaphoid Excision and 4-Bone Arthrodesis Versus Proximal Row Carpectomy: A Comparison of Contact

Biomechanics

J Hand Surg 2012;37A:1861–1867. 2012

Peter Tang, MD, MPH, David H. Wei, MD, MS, Hiroaki Ueba, MD, Thomas R. Gardner, MCE, Melvin P. Rosenwasser, MD

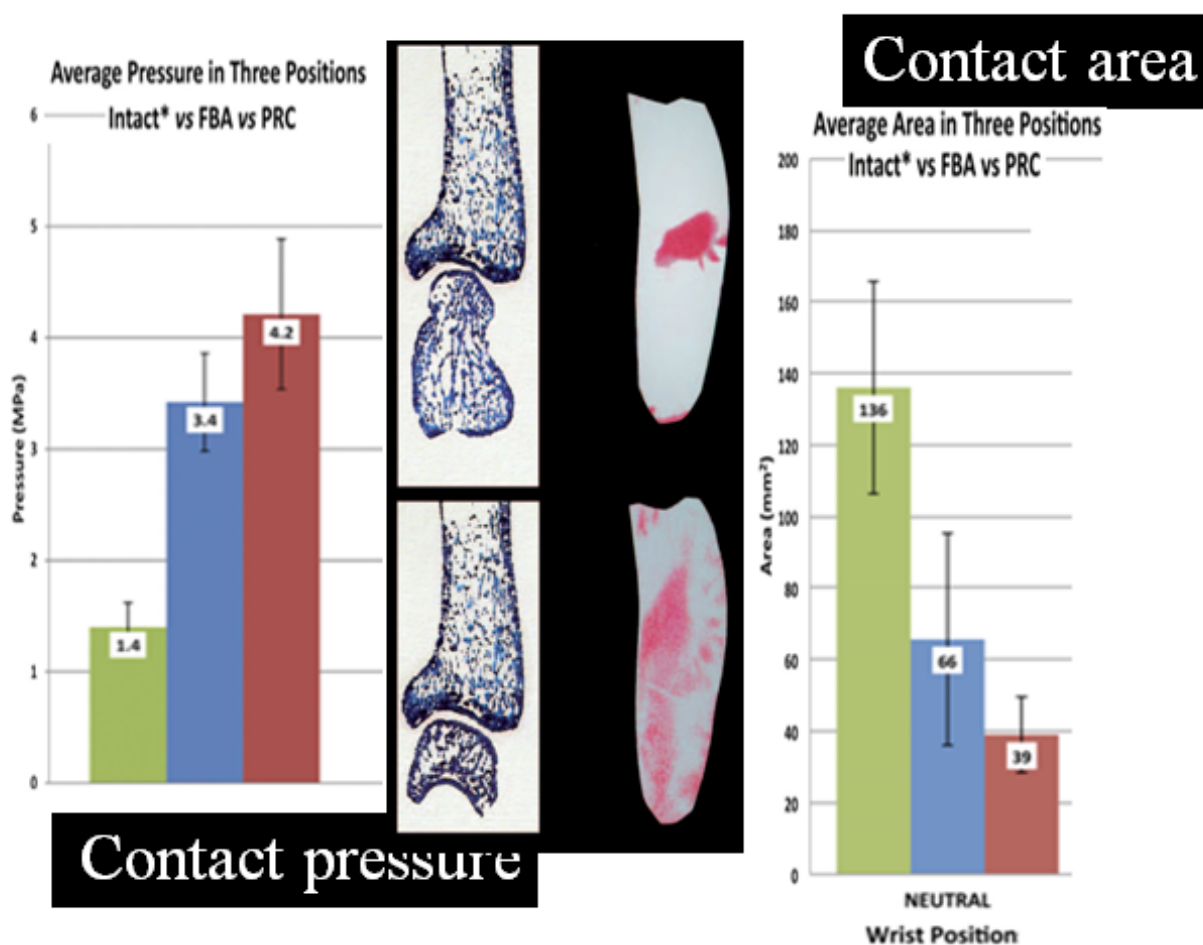


Figure 67: La pression de contact du poignet intact << AOC << RPRC.

Surface de contact du poignet après RPRC » AOC » intact

Les résultats de cette étude sont comparables à l'étude antérieure, ce qui soutient la cohérence de ses résultats.

En se basant sur les résultats des deux études, nous concluons que la pression de contact est plus faible dans le poignet intact, augmente après AOC, et augmente encore plus après RPRC (figure 67).

Nanavati et al [79] a fait une étude dans le but est d'étudier l'utilisation d'une allogreffe par l'interposition d'un ménisque latéral pour amortir les pressions dans l'articulation radiocarpienne et donc d'étendre les indications de la RPRC aux patients atteints d'arthrite préexistante qui pourraient être candidats possibles d'arthrodèse du poignet. L'hypothèse de cette étude biomécanique est qu'une interposition du ménisque latéral allogreffé combiné avec RPRC réduit les pressions de contact et augmente la surface de contact par rapport à la RPRC seule.

L'étude a porté sur six poignets cadavériques, la pression de contact a été mesurée avec le carpe intact, après RPRC, et après l'insertion d'une allogreffe méniscale latérale. La pression de contact des données ont également été recueillies avec le poignet en 5 positions statiques.

Pendant les mouvements dynamiques du poignet de flexion–extension et de déviation radio–ulnaire, la RPRC a montré une tendance à avoir de plus grandes pressions de contact moyenne (Figure 68) pendant une grande partie du mouvement et moins de surface de contact totale (Figure 69). Statistiquement, la RPRC a causé une plus grande pression sur la surface commune que ceux du poignet intact ou après l'insertion de l'allogreffe.

La RPRC a également causé statistiquement plus petite surface de contact que ceux avec le poignet intact ou après insertion de l'allogreffe.

L'allogreffe a permis de réduire la pression et d'augmenter la surface par rapport à celle observée avec le poignet intact. Au cours des mouvements de la flexion extension avec le poignet intact ou après RPRC, les pics de pression sont généralement produites avec le poignet à environ 10 ° de flexion, avec le mouvement du poignet au maximum flexion vers la position neutre. Après que l'allogreffe a été insérée, les pressions de contact se sont produites sur une plage de positions du poignet, à partir de 35 ° de flexion à 20 ° d'extension.

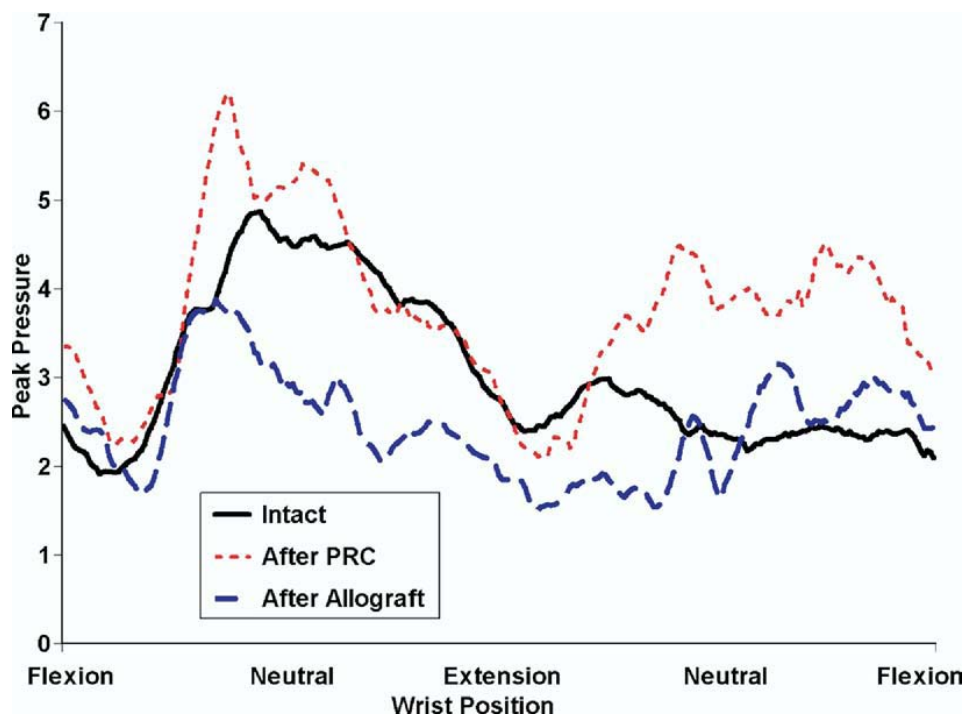


Figure 68: Pic de pression (MPa) sur l'articulation radio-carpienne pendant le mouvement cyclique de flexion et d'extension du poignet.

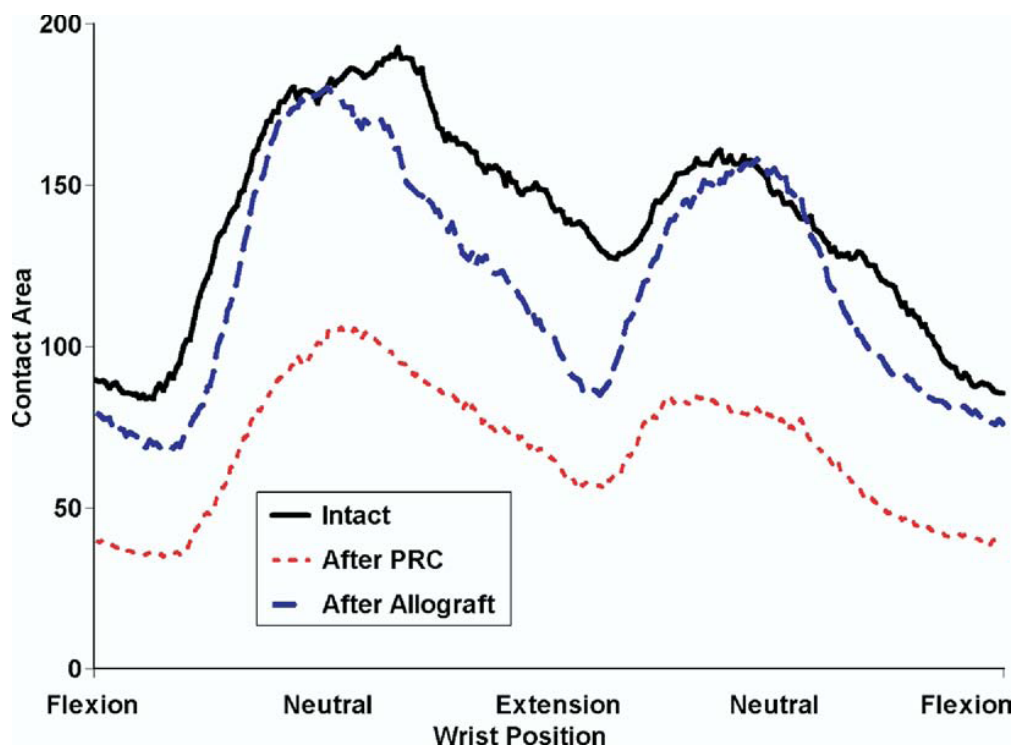


Figure 57: Zone de contact totale (mm²) sur l'articulation radio-carpienne pendant le mouvement cyclique de flexion et d'extension du poignet.

On en conclu que la RPRC est responsable de plus grandes pressions de contact et de plus petites surfaces de contact par rapport au poignet intact. Et que l'insertion de l'allogreffe a restauré les pressions et les surfaces à celle observée au niveau du poignet intact.

Selon l'étude de **ROTSAERT** [80] La résection de la première rangée du carpe perturbe significativement la biomécanique du poignet tant au niveau du point pivot et des bras de levier musculaires qu'au niveau des contraintes épiphysaires radiales distales (figure 70).

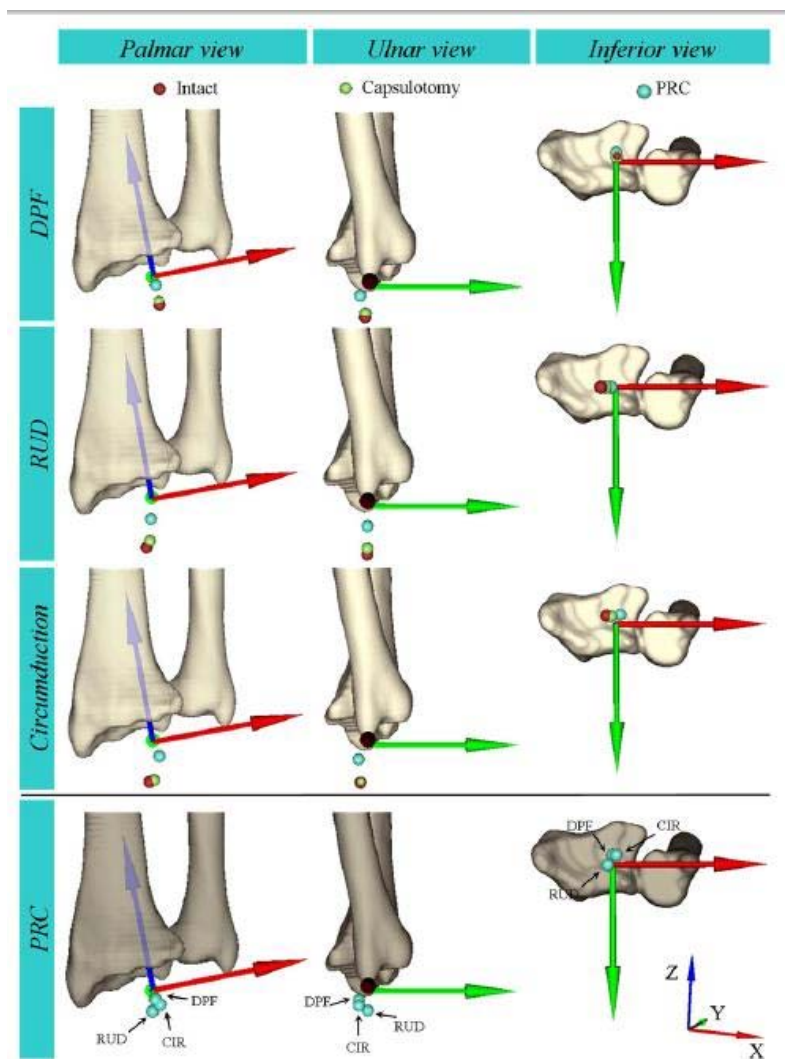


Figure 70: Représentation anatomique du point pivot dans les différentes positions du poignet. DPF: Dorso-palmar flexion; RUD: Radioulnar deviation; and PRC: proximal row carpectomy.

Sobczak et al [80] trouve que les arthrodèses partielles des os du carpe conservent ou rétablissent la hauteur du carpe. La récupération post opératoire de la mobilité et de la force musculaire est de durée inférieure à 6 mois, tandis que la résection de la première rangée entraîne un raccourcissement de la hauteur du carpe et un allongement relatif des tendons, avec une diminution de la force de prise globale.

L'analyse des résultats d'autres séries, montre que dans les collapsus carpien post traumatique, les arthrodèses privilégient l'indolence et la force, et la résection privilégie la mobilité.

2. Etudes de comparaison cliniques:

Dans la littérature, nous retrouvons, également de nombreuses comparaisons cliniques de ces deux interventions. Les auteurs préfèrent chaque fois que c'est possible les arthrodèses partielles. Le choix est souvent fait en per opératoire et dépend surtout de l'existence d'une arthrose radio-scaphoïdienne et de l'état du cartilage de la tête du capitatum.

Une étude analytique a été entreprise pour clarifier les controverses à propos de ces deux procédures afin de déterminer laquelle a le meilleur résultat. Cette étude porte sur 52 articles (annexe 1) qui examinent les résultats pour les patients atteints de SNAC ou SLAC subissant une RPRC ou excision du scaphoïde et arthrodèse des 4 os du carpe (AOC). Bien que l'absence d'essais impartiaux doit être reconnu, cette revue systématique confirme que les deux procédures donnent des améliorations dans les mesures de la douleur et de résultats subjective pour les patients présentant des symptômes, et mis en scène de manière appropriée les poignets SLAC ou SNAC. La RPRC peut offrir une meilleure amplitude postopératoire de mouvement et n'a pas les complications potentielles spécifiques à l'AOC (pseudarthrose, les problèmes de matériels et l'empiètement dorsal). Cependant, le risque d'arthrose subséquente est significativement plus élevé chez les patients subissant la RPRC en dépit de la majorité étant

asymptomatique au moment de l'examen. La force de préhension, le soulagement de la douleur et les résultats subjectifs sont similaires dans les deux groupes de traitement.

Les patients subissant la RPRC affirment que la technique chirurgicale simple donne une plus grande amplitude de mouvement sans risque de pseudarthrose ou de complications secondaires au matériel. Les patients bénéficiant de l'AOC réclament une plus grande force de préhension et moins de chances de progression de l'arthrite radiocarpale.

Cette analyse a déterminé s'il y a une différence dans les résultats après RPRC et AOC dans le traitement des poignets SLAC et SNAC. Les résultats examinés comprennent la force de préhension, l'amplitude de mouvement, les complications postopératoires, le soulagement de la douleur où le médecin (par exemple Gartland, Mayo) ou le patient (par exemple DASH, SF-36) fait état de résultats.

Les articles provenaient de MEDLINE (1966–2008), EMBASE (1980–2008), CINAHL et de Cochrane Controlled Trials Register electronic databases.

Les références de révision des articles trouvés dans la recherche, grands livres de texte orthopédique / main (Browner et al. 2003; Canale et Beaty, 2007; Green et al. 2005) et articles primaires ont été vérifiés pour identifier tout article supplémentaire ne se trouvant pas dans la recherche originale. La recherche de la table des matières du Journal of Hand Surgery (américaine, britannique et européenne) était réalisée y compris la recherche effectuée sur les résumés publiés dans les réunions européennes ou nord-américaines de la main.

La recherche a été réalisée avec l'aide d'un bibliothécaire expérimenté dans la recherche de bases de données électroniques en utilisant les termes, «Proximal row carpectomy », «midcarpal fusion », «four corner fusion», «carpal instability », «SLAC», «SNAC». Toutes les langues ont été incluses dans la recherche.

La recherche initiale a identifié 136 articles dont cinquante deux répondaient aux critères d'inclusion (Annexe 1).

Tous les articles inclus dans la revue systématique ont été étudiés d'observation. La majorité était rétrospective, série de cas.

Les caractéristiques démographiques de tous les articles inclus sont résumées dans (tableau II). Les données démographiques des patients dans les études de comparaison sont semblables à celles de tous les articles.

Tableau II: résumé des données démographiques des patients

<i>Procedure</i>	<i>Number of articles</i>	<i>n wrists operated</i>	<i>n SNAC* (%)</i>	<i>n SLAC* (%)</i>	<i>Average Age (range)</i>	<i>Male* (%)</i>	<i>Female* (%)</i>	<i>Average F/U months (months)</i>
PRC	27	625	169 (45%)	211 (55%)	42 (8 to 84)	354 (71%)	146 (29%)	50 (12 to 240)
4CF	36	1173	233 (28%)	601 (72%)	48 (15 to 85)	765 (83%)	162 (17%)	39 (12 to 144)
Comparison Articles								
PRC	8	160	56 (38%)	90 (62%)	47 (21 to 71)	110 (71%)	45 (29%)	40 (12 to 132)
4CF	8	185	18 (19%)	79 (81%)	49 (19 to 73)	130 (86%)	22 (14%)	39 (12 to 96)

n = number, F/U = follow up, *not all articles reported these figures and thus do not add up to total number of operations.

Lorsque tous les articles ont été examinés les moyennes pondérées pour la RPRC étaient de 70% et 33 kg par rapport à 75% et 31 kg pour AOC.

La force de préhension postopératoire pour les articles de comparaison était similaire (tableau IV). La méta-analyse n'a pas été effectuée en raison du manque d'écarts-types rapportés.

Tableau III: La force de préhension moyenne mesurée

<i>Procedure</i>	<i>Number studies reporting</i>		<i>% of other side</i>	<i>JAMAR kg</i>
	<i>% GS</i>	<i>kg GS</i>		
PRC	18	7	70	33
4CF	26	15	75	30
Comparison Papers				
PRC	8	6	73	30
4CF	8	6	72	35

GS = grip strength.

Un petit nombre d'articles rapporte La force de préhension pré- et postopératoire

Pour la RPRC. Tous ont montré une amélioration de la résistance d'adhérence après chirurgie. Dans l'AOC une série de huit articles rapportent le pourcentage de la force préhension pré- et postopératoire. L'un était pire, l'un de même et six mieux. Neuf articles de la série AOC rapportent adhérence pré- et postopératoire en kg. Trois ont montré diminution de l'adhérence, un pas de changement et cinq amélioré (tableau III).

Les articles rapportent des chiffres pré- et postopératoires qui montrent que la majorité des patients dans les deux techniques ont une réduction dans L'amplitude du mouvement après la chirurgie (tableau IV).

Tableau IV : Nombre d'article rapportant le changement de l'amplitude de mouvement avant et après la chirurgie

<i>ROM Change</i>	<i>PRC F-E Arc</i>	<i>4CF F-E Arc</i>	<i>PRC R-U Arc</i>	<i>4CF R-U Arc</i>
Improved ROM Postop	3	1	2	2
No Change in ROM Postop	1	1	0	0
Decreased ROM Postop	7	10	5	4

F-E = flexion-extension, R-U = radial-ulnar.

Les valeurs pré- et post-opératoires sont les mêmes pour tous mesures de changement de l'amplitude du mouvement (tableaux IV, V et VI, figure 71).

Tableau V: Articles rapportent des chiffres pré- et postopératoires de l'amplitude du mouvement de flexion extension.

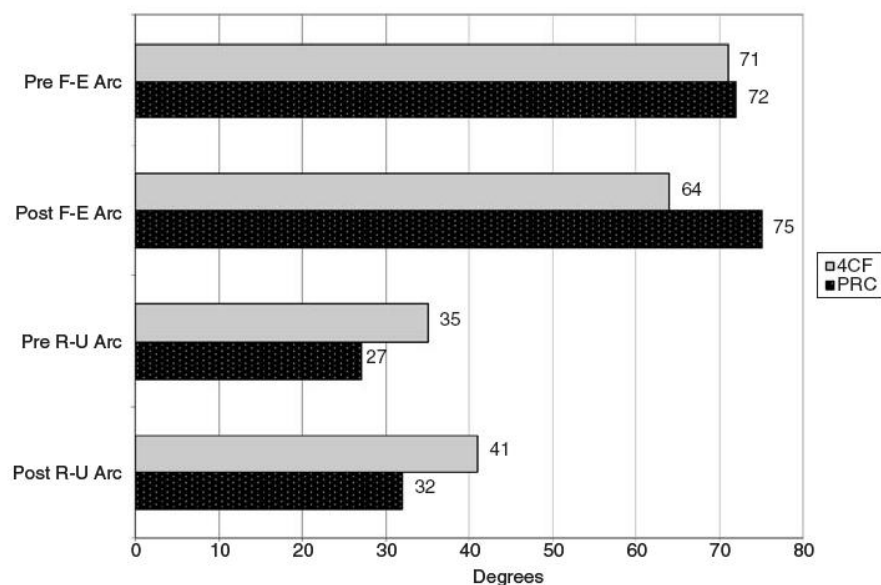
	<i>No. articles reporting ROM</i>		<i>Pre F-E Arc*</i>	<i>Post F-E Arc*</i>	<i>Pre Flex</i>	<i>Post Flex</i>	<i>Pre Ext</i>	<i>Post Ext</i>
	<i>Pre</i>	<i>Post</i>						
PRC	11	22	72	75	35	38	34	41
4CF	12	30	71	64	36	33	30	33
Comparison Articles								
PRC	4	8	79	76	39	36	38	42
4CF	4	8	81	76	39	35	39	35

*The arc does not add up to the addition of appropriate means due to some papers only reporting certain values.

Tableau VI: Articles rapportent des chiffres pré- et postopératoires de l'amplitude du mouvement radio ulnaire.

	<i>No. Articles reporting ROM</i>		<i>Pre R-U Arc*</i>	<i>Post R-U Arc*</i>	<i>Pre radial</i>	<i>Post radial</i>	<i>Pre ulna</i>	<i>Post ulna</i>
	<i>Pre</i>	<i>Post</i>						
PRC	11	27	32	9	7	17	23	22
4CF	12	35	41	13	13	19	19	30
Comparison Articles								
PRC	4	8	33	32	13	9	19	22
4CF	4	8	30	30	14	12	16	17

*The arc does not add up to the addition of appropriate means due to some papers only reporting certain values.



Weighted averages for all articles with pre- and postoperative arcs.

Figure 71: Articles rapportant les arcs en pré- et post-opératoires.

Pour le soulagement de la douleur, les scores de douleur Subjective étaient disponibles pour 12 articles de la RPRC et 14 des articles de l'AOC. La RPRC a eu de bons résultats dans 84% des cas (277 poignets avec bons résultats et 51 résultats médiocres) comparativement à 85% pour AOC (553 poignets avec bons résultats et 96 résultats médiocres). Différentes formes de scores d'évaluation visuelle ont été utilisés, tous montrant les scores de douleur améliorés suivant la chirurgie.

Scores subjectifs de «bon» ou «mauvais» soulagement de la douleur étaient disponible uniquement pour deux des documents de comparaison.

Résultat subjective: Neuf articles ont rapporté des résultats subjectifs pour RPRC et 15 pour AOC. 80% des patients étaient satisfaits après la RPRC (107 de 136) par rapport à 90% des patients après AOC (633 de 726). Il n'y avait pas assez de médecins rapportant les résultats pour résumer les données.

Les complications post-opératoires: le nombre de complications rapportées dans toute la littérature disponible est résumé dans le tableau VII.

	<i>Total no. of wrists undergoing surgery</i>	<i>Convert to fusion (%)</i>	<i>RSD</i>	<i>Sepsis</i>	<i>Other</i>	<i>OA</i>	<i>Nonunion</i>	<i>DI</i>	<i>HI</i>
PRC	619	24 (3.9%)	6 (1.0%)	1 (0.2%)	7 (1.1%)	23 (3.7%)			
4CF	1175	34 (2.9%)	12 (1.0%)	7 (0.6%)	17 (1.5%)	16 (1.4%)	66 (5.5%*)	30 (2.6%)	39 (3.3%)

*Note: overall nonunion in 4CF was 4.95% for articles reporting the procedure with wires or screws only whilst in articles presetting data for plate only the nonunion rate was 13.6%. RSD = reflex sympathetic dystrophy; OA = osteoarthritis; DI = dorsal impingement; HI = hardware problems.

Tableau VII: Les complications rapportées dans les différentes études

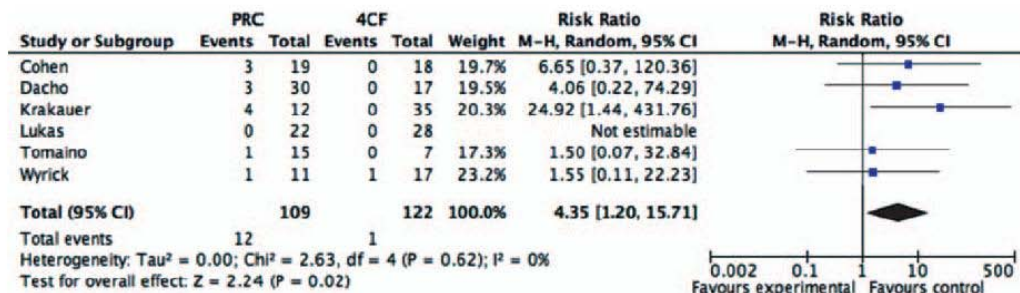
Une méta-analyse des six articles de comparaison rapportant le nombre de cas nécessitant une conversion vers l'arthrodèse n'a trouvé aucune différence significative entre les deux techniques. Le risque relatif était de 1,02 (IC à 95% 0,28 à 3,69) (figure 73).

Six articles de comparaison rapportent le nombre des patients présentant des complications arthrosiques post-opératoire.

La méta-analyse (figure 72) montre un risque significativement plus élevé de développer ostéoarthrite après RPRC qu'après AOC (RR 4,35 avec IC à 95% de 1,20 à 15,71).

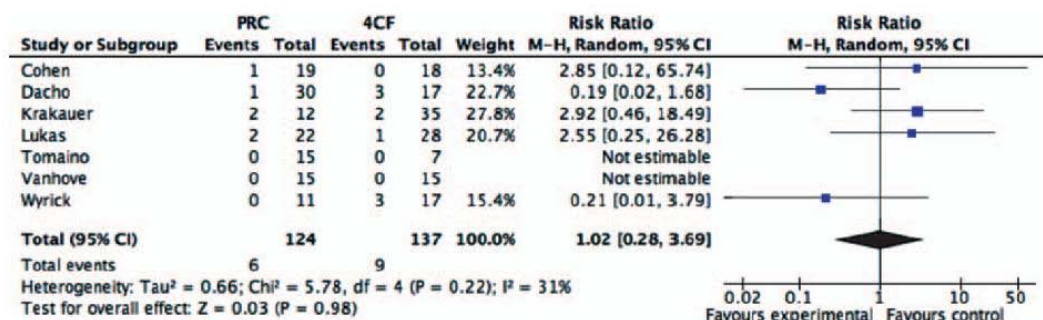
L'évolution post-opératoire de l'arthrose était significativement plus fréquente après la RPRC qu'après AOC avec un risque relatif de 4,35 en utilisant la méta-analyse. Les intervalles de confiance à 95% sont larges (1,2 à 15,7). La pertinence clinique de ce résultat significatif est incertain, comme la plupart de ces patients sont signalés à être asymptomatique.

Les résultats soutiennent l'idée que l'incongruité entre capitatum et la fossette lunaire du radius prédispose à l'arthrose.



Meta-analysis of comparison studies reporting osteoarthritic change postoperatively.

Figure 72: Etude méta-analytique comparant le risque d'ostéoarthrite post-opératoire



Meta-analysis of comparison studies reporting relative risk of postoperative conversion to arthrosis.

Figure 73: Etude méta-analytique comparant le risque de conversion en arthrite post-opératoire

3. Notre étude géométrique:

Dans notre étude de comparaison géométrique, la surface supérieure du lunatum est constamment plus grande que celle du capitatum (figure 74). Ainsi, nous pouvons déduire que l'arthrodèse capito-lunaire expose une surface de contact radio-lunaire bien plus grande que la surface radio-capitale en cas de résection de la première rangée du carpe. Les contraintes en pression sur le cartilage articulaire s'en trouvent proportionnellement modifiées. Cela expliquerait au moins en partie la dégradation articulaire plus précoce en cas de résection de la première rangée du carpe. Car, il ne faut pas oublier qu'en cas de résection de la première rangée du carpe, le relâchement relatif des tendons autour du poignet, ajouterait des contraintes

anormales de friction capito-radiale. Le résultat de notre étude, rejoint ceux des études biomécaniques et cliniques, et constituent un argument en plus en faveur de l'arthrodèse.

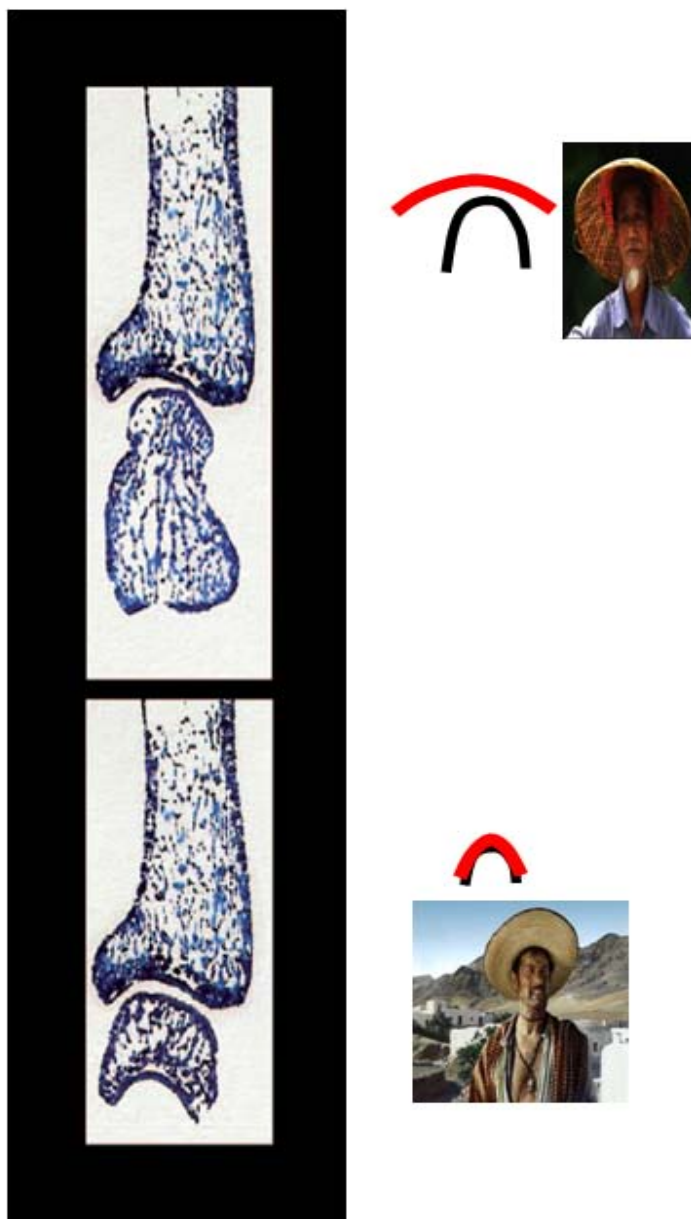


Figure 74: La surface supérieure du lunatum>>> capitatum.



CONCLUSION

La prise en charge d'un poignet dégénératif fait encore l'objet de controverse, cette étude de recherche clinique nous a permis de démontrer, qu'au cours des résections de la première rangée, la congruence articulaire entre la fossette lunarienne du radius et le capitatum est plus faible. Ceci a pour conséquence une dégradation plus rapide du cartilage, d'autant plus que La transmission de toutes les forces passe alors par cette néoarticulation. Ainsi, chaque fois que l'on puisse préserver le lunatum, il faut le faire.

RÉSUMÉS



Résumé

Dans cette étude de recherche clinique, nous proposons d'étudier les rayons de courbure des surfaces supérieures du lunatum et du capitatum de face et de profil. Sur des radiographies standard normales de face et de profil et en utilisant un logiciel de géométrie (GeoGebra) nous avons dessiné les cercles osculateurs des surfaces supérieures du lunatum et du capitatum, puis nous avons mesuré les rayons de courbures relatifs. Il s'agissait respectivement de 111 clichés bien centrés de face (série A) et de 111 clichés de profils (série B). Pour la série A, la moyenne des rapports des rayons de courbures lunatum/capitatum était de $1,84 \pm 0,5$ avec des extrêmes de 1,08 et 3,96 et un écart-type de 0,095. Pour la série B, la moyenne des rapports des rayons de courbures lunatum/capitatum était de $1,66 \pm 0,43$ avec des extrêmes de 1,06 et 3,88 et un écart-type de 0,0813. D'après cette étude, il semble que le rayon de courbure de la tête du capitatum est constamment plus petit que celui du lunatum aussi bien de face que de profil. De même, on pourrait retenir qu'au niveau de leurs sommets, le lunatum et le capitatum sont sensiblement sphériques. En se référant à la formule mathématique de calcul d'une calotte sphérique ($S = 2\pi Rh$), on peut dire que la surface du sommet du lunatum est plus grande que celle du capitatum (rapport respectif allant de 1,84 à 1,66). Il s'en déduit que l'arthrodèse capito-lunaire expose une surface de contact radio-lunaire bien plus grande que la surface radio-capitale en cas de résection de la première rangée du carpe. Cela expliquerait au moins en partie la dégradation articulaire plus précoce en cas de résection de la première rangée du carpe.

Abstract

In this research study, we propose to study the rays of curvature of the upper surfaces of the lunate and the capitate face and profile. On normal radiographs of the front and side and using geometry software (GeoGebra) we designed the osculating circles of the upper surfaces of the lunate and the capitate, and then we measured the relative ray of curvature. It was respectively 111 shots centered for face (series A) and 111 profiles (series B). For the Serie A, the average ratio of rays of curvature lunate / capitate was 1.84 ± 0.5 with a range of 1.08 and 3.96 and a standard deviation of 0.095. For Series B, average rays reports ratio of rays of curvature lunate / capitate was 1.66 ± 0.43 with a range of 1.06 and 3.88 and a standard deviation of 0.0813. According to this study, it seems that the head of the capitatum curvature radius is constantly smaller than that of the lunate both face and profile. Similarly, we might remember that at their highs, the lunate and capitate are substantially spherical. With reference to the mathematical formula of a spherical cap ($S = 2\pi Rh$), we can say that the top surface of the lunate bone is greater than that of the capitate (respective ratio ranging from 1.84 to 1.66). It can be deduced that the fusion capito-lunate expose radiolunate contact area much larger than the radio-city area in case of resection of the first row of the carpus. This would explain at least in part the more precocious joint destruction in case of resection of the first row of the carpus.

ملخص

في هذا البحث الكلينيكي نقترح دراسة شعاع انحناء المساحات العليا للعظم الهلالي والعظم الكبير من الواجهة الأمامية والجانبية، انطلاقاً من الصور الاشعاعية العادية الأمامية والجانبية باستخدام برنامج الهندسة (GeoGebra).

و قد قمنا بتصميم دوائر التلامس للمساحات العليا للعظم للهلالي والكبير ، ثم قمنا بقياس الشعاع النسبي للانحناء وكان على التوالي 111 صورة اشعاعية مركزة أمامية (سلسلة أ) و 111 صورة اشعاعية جانبية (سلسلة ب).

ففي السلسلة أ، كان متوسط نسب شعاع انحناء العظم الهلالي و الكبير 1.84 ± 0.5 حيث كان أدنى شعاع هو 1.08 و أعلاه 3.96 مع فارق 0.095.

أما بالنسبة للسلسلة ب، كان متوسط نسب شعاع انحناء العظم الهلالي و الكبير 1.66 ± 0.43 حيث كان أدناه 1.06 و أعلاه 3.88 مع فارق 0.0813.

من خلال هذه الدراسة، يبدو أن شعاع انحناء رأس العظم الكبير هو دائماً أصغر من شعاع انحناء رأس العظم الهلالي سواء في الصور الاشعاعية العادية الأمامية أو الجانبية. كما اننا نستخلص ان رأس العظم الكبير والعظم الهلالي كرويا الشكل.

بالمقارنة مع المعادلة الرياضية لحساب القبة الكروية ($S = 2\pi Rh$)، يمكن القول أن مساحة السطح

العلوي للعظم الهلالي اكبر من مساحة السطح العلوي للعظم الكبير (نسبة كل منها تتراوح من 1,66 إلى 1,84). ومما سبق نستخلص أن الانصهار المفصلي بين العظم الكبير و العظم الهلالي يجعل مساحة التماس بين العظم الهلالي و الكعبرة أكبر بكثير من المساحة بين عظم الكعبرة و العظم الكبير في حالة استئصال الصف الأول من الرسغ. وهذا يفسر على الأقل تاكل المفصل في وقت مبكر في حالة استئصال الصف الأول من الرسغ.



BIBLIOGRAPHIE

1. **Bonnel F, Roussannea Y, Chemounyb S, Banegasb F.**
Modélisation du carpe osseux et biomécanique
Chirurgie de la main 26 (2007) 180–199
2. **Vesalius A.**
De Corporis Humani Fabrica.
Basel. 1555. p. 141–6.
3. **Lyserius M.**
Culter Anatomicus. chap 2.
Kopenhagen. 1653.
4. **Soemmering Von ST.**
Vom Bau des menschlichen Körpers. 1791. p.363–70.
5. **Hildebrandt F.**
Handbuch der Anatomie des Menschen. 1798.
6. **Bryce T.**
On certain points in the anatomy and mechanism of the wristjointreviewed in the light of
a series of Roentgen by photographs of the living hand.
J Anat 1897;31:59–79
7. **Henke W.**
Die Bewegungen der Hnadwurzel.
Z Rat Med 1859;7:21–41.
8. **Fick R. Specielle Gelenk und Muskelmechanik.**
Menschen D, Bardeleden KV,
Handbuch Anat. 1911.
9. **Johnston HM.**
Varying positions of the carpal bones in the different movements at the wrist.
J Anat 1907;41:109–22.
10. **Destot E.**
Traumatismes du poignet et R.X.
Paris: Masson et Cie édit;1923.
11. **Landsmeer JMF.**
Spatial coherences and spatial equilibrium in the carpal region.
Acta Anat (Basel) 1968;54(Suppl):I–84.

12. **Kauer JMG.**
Functional anatomy of the wrist.
Clin Orthop Relat Res 1980;149:9–20.

13. **Linscheid RL, Dobyns JH, Beabout JW, Bryan RS.**
Traumatic instability of the wrist. Diagnosis, classification, and pathomechanics.
J Bone Joint Surg Am 1972;54:1612–32.

14. **Taleisnik J.**
Les ligaments du carpe.
In: Le poignet. Monographie du GEM no 12. Paris: Expansion Scientifique Francaise; 1983.
p. 25–34.

15. **Allieu Y.**
Déstabilisation du carpe par lésions ligamentaires et désaxations
carpiennes d'adaptation explication du concept de l'instabilité carpienne.
Ann Chir Main 1984;3:317–32.

16. **KAPANDJI A.**
Biomécanique du carpe et du poignet.
Ann Chir Main, 1987, 6, n ° 2, 147–169.

17. **BONNEL F., ALLIEU Y.**
Les articulations radio–cubito–carpienne et medio–carpienne. Organisation anatomique et
bases biomecaniques.
Ann. Chit. Main, 1984, 3, 4, 287–296. [18] Kuhlmann N. Les mécanismes de l'articulation
du poignet. Ann Chir
1979;33:711–9.

18. **Kuhlmann N.**
Les mécanismes de l'articulation du poignet.
Ann Chir 1979;33:711–9.

19. **Allieu Y. Brahini B. Asencio G .**
Les instabilités du carpe. Bilan sémiologique radiologique
Ann Chir. Radiol . 1982; 25, 4, 275–287.

20. **Demondion X, Boutry N, Khalil C et Cotten A**
Plain radiographs of the wrist and hand
J Radiol 2008;89:640–53

21. **Blum A, Walter F, Payafar A, Witte Y, Ludig T, Roland J.**
Radiography of the upper limb revisited: the shoulder and the wrist.
J Radiol 2001;82:355–69; quiz 371–372.
22. **Zeitoun F, Dubert T, Frot B, Laredo JD.**
Imaging of the wrist and of the hand: what is the best modality?
J Radiol 2001;82:335–52; quiz 353–354.
23. **Greenspan A.**
Orthopedic imaging: a practical approach.
Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2004.
24. **Norman A, Nelson J, Green S.**
Fractures of the hook of hamate: radiographic signs. Radiology 1985;154:49–53.
25. **Bianchi S, Abdelwahab IF, Federici E.**
Unilateral os hamuli proprium simulating a fracture of the hook of the hamate: a case report.
Bull Hosp Jt Dis Orthop Inst.1990 Fall;50:205–8.
26. **Gilula LA.**
Carpal injuries: analytic approach and case exercises.
AJR Am J Roentgenol 1979;133:503–17.
27. **Drapé JL, Leblevec G, Godefroy D, Pessis E, Moutounet L, Chevrot A.**
Imagerie normale du poignet et de la main.
Radiographies, arthrographie, échographie.
Encycl Méd Chir (Elsevier, Paris), Radiodiagnostic. Squelette normal, 30–320–A–10, 1999, 1– 23
28. **Smith DK, Gilula LA, Amadio PC.**
Dorsal lunate tilt (DISI configuration): sign of scaphoid fracture displacement. Radiology 1990; 176:497–9.
29. **LANOY J.F., MAZAS Y., MAZAS F., RENGEVAL J.P.**
Etude radiologique des centres de rotation du poignet. *Ann Chir Main*, 1982, 1, 227–232.

30. **FAHRER M. Le carpe, notions générales, les ligaments.**
In : TUBIANAR.
Traité de Chirurgie de la Main, vol. 1. Paris, Masson 6d., 1980
31. **FLATT A.E., YOUM Y., BERGER R.A.**
Les mécanismes des mouvements du poignet humain,
In: Le Poignet. Monographie du GEM, Paris, Expansion Scientifique Française 6d. 1983.
32. **GILFORD W.W., BOLTON R.H., LAMBRINUDI C.**
The mechanism of the wrist joint with special reference to fractures of scaphoid.
Guy's Hosp Rep, 1943, 92, 52.
33. **KAPANDJI I.A.**
Le poignet. *In : Physiologie Articulaire, Schémas commentés de Mécanique Humaine*, 5
ced. Paris, Maloine 6d., 1980.
34. **YOUM Y., MAC MURTRY R.Y., FLATT A.E., GILLEPSIE T.E.**
Kinematics of the wrists.
Bone Joint Surg (Am), 1978, 60, 423–431.
35. **TALEISNIK J.**
Post-traumatic carpal instability.
Clin Orthop, 1980, 149, 73–82.
36. **KUHLMANN J.N.**
Anatomie, biomécanique, physiologie des structures ligamentaires du poignet.
Cahier d'enseignement de la société française de chirurgie de la main. 1994 ;6 : 81–99.
37. **KUHLMANN J.N., TUBIANA R.**
Mécanisme du poignet normal,
Le poignet. Monographie du GEM. N012. Vol. 12. 1983: ESF. 62–71.
38. **CRAIGEN M.A., STANLEY J.K.**
Wrist kinematics. Row, column or both?
J Hand Surg [Br] 1995; 20(2): 165–70.
39. **GELLMAN H ET AL.**
An in vitro analysis of wrist motion: the effect of limited intercarpal arthrodesis and the
contributions of the radiocarpal and midcarpal joints.
J Hand Surg [Am], 1988;13(3): 378–83.

40. **CAMUS E.J. ET AL.**
Kinematics of the wrist using 20 and 30 analysis: biomechanical and clinical deductions.
Surg Radiol Anat, 2004;26(5): 399–410.
41. **FEIPEL V, ROOZE M**
Three-dimensional motion patterns of the carpal bones: an in vivo study using
threedimensional
computed tomography and clinical applications.
Surg Radiol Anat, 1999;21(2):125–31.
42. **CAMUS E.J ET AL.**
The double-cup carpus: A demonstration of the variable geometry of the carpus.
Chir Main, 2007.
43. **FONTES D**
Les lésions ligamentaires intracarpiennes : histoire naturelle, attitude pratique ,
Journal de Traumatologie du Sport 2007 ;24 :168–171
44. **CAMUS E.J, LUSSIEZ B, RIZZO C, LEBRETON E.**
Biomécanique du scaphoïde. In : Le scaphoïde, de la fracture à l'arthrose.
Sauramps Médical. 2004:45–54.
45. **KOEBKE J, FEHNNANN P, MOCKENHAUPT J.**
Stress on the normal and pathologic wrist joint.
Handchir Mikrochir Plast Chir, 1989;21:127–33.
46. **WERNER F.W ET AL.**
Force transmission through the distal radioulnar carpal joint: effect of ulnar lengthening
and shortening.
Handchir Mikrochir Plast Chir, 1986 ;18(5):304–8.
47. **CAMUS E.J.**
Aspect biomécanique et conséquences des arthrodèses intra-carpiennes in:
arthroscopie scaphoïdienne.,
Ed. S. médical. 2006
48. **BERGER R.A.**
The anatomy of the ligaments of the wrist and distal radioulnar joints.
Clin Orthop 2001;383:32–40.

49. **VOCHE PH, DAUTEL G, MERLE M, DAP F**
Techniques palliatives et traitement des séquelles In La main traumatique (2) chirurgie secondaire,
Chapitre 20, page : 423
50. **BRUMFIELD R.H, CHAMPOUX J.A**
A biomechanical study of normal functional wrist motion.
Clin.Orthop.1984;187:23-25
51. **PETERSON H.A, LIPSCOMB P.R.**
Intercarpal arthrodesis.
Arch.Surg.1967;95:127-134
52. **GARCIA-ELIAS M, LLUCH A.**
Partial excision of scaphoid: is it ever indicated?
Hand Clin 2001;17:687- 695
53. **DWYER FC:**
Excision of the carpal scaphoid for ununited fractures.
J Bone Joint Surg 1949 ;31B:572-577.
54. **TUBIANA R., KUHLMAN N., FARHER M., LISFRANC R. --**
Etude du poignet normal et ses déformations au cours de la polyarthrite rhumatoïde. *Chirurgie*, 1980, 106, 257-264.
55. **Viegas SF, Tencer AF, Cantrell J, et al. 1987.**
Load transfer characteristics of the wrist: Part I. The normal joint. J Hand Surg 12A(6):971.
56. **Palmer AK, Werner FW. 1984.**
Biomechanics of the distal radio-ulnar joint. Clin Orthop 187:26.
57. **Viegas SF, Patterson RM, Peterson PD, et al. 1989.**
The effects of various load paths and different loads on the load transfer characteristics of the wrist. J Hand Surg 14A(3):458.
58. **Horii E, Garcia-Elias M, An KN, et al. 1990.**
Effect of force transmission across the carpus in procedures used to treat Kienbock's Disease. J Bone Joint Surg 15A(3):393.

59. **Viegas SF, Patterson RM, Todd P, et al. October 7, 1990.**
Load transfer characteristics of the midcarpal joint. Presented at Wrist Biomechanics Symposium, Wrist Biomechanics Workshop, Mayo Clinic, Rochester, MN.
60. **Peter Tang, MD, Jean Gauvin, MD, PhD, Muturi Muriuki, PhD, Jamie H. Pfaeffle, MD, PhD, Joseph E. Imbriglia, MD, Robert J. Goitz, MD**
Comparison of the "Contact Biomechanics" of the Intact and Proximal Row Carpectomy Wrist
J Hand Surg 2009;34A:660-670.
61. **Schuind FA, Linscheid RL, An KN, et al. 1992.**
Changes in wrist and forearm configuration with grasp and isometric contraction of elbow flexors.
J Hand Surg 17A:698.
62. **Neu CP, McGovern RD, Crisco JJ.**
Kinematic accuracy of three surface registration methods in a three-dimensional wrist bone study.
J Biomech Eng 2000;122:528-33.
63. **Aufauvre B, Herzberg G, Carret J, Berthonneaud E, Dimnet J.**
A new radiographic method for evaluation of the position of the carpus in the coronal plane: results in normal subjects. *Surg Radiol Anat 1999;21:383-5.*
64. **Patterson RM, Elder KW, Viegas SF, Buford WL.**
Carpal bone anatomy measured by computer analysis of three-dimensional reconstructions of computed tomography images.
J Hand Surg [Am] 1995;20:923-9
65. **Savelberg H, Otten JD, Kooloos JG, Huiskes R, Kauer JM.**
Carpal bone kinematics and ligament lengthening studied for the full range of joint movement.
J Biomech 1993;26(12):1389-92.
66. **Schernberg F.**
Roentgenographic examination of the wrist: a systematic study of the normal, lax and injured wrist. 1. The standard and positional views.
J Hand Surg [Br] 1990;15:210-9.

67. **Friberg S, Lundström B.**
Radiographic measurements of the radiocarpal joint in normal adults.
Acta Radio Diagn 1976;17:249–56.
68. **Schuind FA, Lindcheid RL, An KN, Chao EY.**
A normal data base of posterior roentgenographic measurements of the wrist.
J Bone Joint Surg Am 1992;74:1418–29.
69. **Larsen CF, Stigsby B, Lindequist S, Bellstrom T, Mathiesen FK, Ipsen T.**
Observer variability in measurements of carpal bones angles on lateral wrist radiographs.
Hand Surg [Am] 1991;16:893–8.
70. **Le Minor J, Rapp E.**
Relative weights of the human carpal bones: biological and functional interests.
Ann Anat 2001;183:537–43.
71. **Saffar P.**
Luxation du carpe et instabilité résiduelle.
Ann Chir Main 1984; 3:349–52.
72. **Soemmering Von ST.**
In: Vom Bau des menschlichen Körpers. 1791. p. 363–70.
73. **Robertson C, Ellis RE, Goetz T, Gofton W, Fenton PV, Small CF, et al.**
The sensitivity of carpal bone indices to rotational malpositioning.
Hand Surg [Am] 2002;27:435–42.
74. **Belsole RJ, Hilbelink DR, Llewellyn JA, Dale M, Ogden JA.**
Carpal orientation from computed reference axes. Hand Surg [Am] 1989;16: 82–90.
75. **Viegas SF, Hillman GR, Elder K, Stoner D, Patterson RM.**
Measurement of carpal bone geometry by computer analysis of three-dimensional CT images. Hand Surg [Am] 1993;18:341–9
76. **Banegas F.**
Caractérisation et reconstruction de solides tridimensionnels par squelette ellipsoïdal. n 238 ID ; Thèse.

77. **Panjabi MM, Krag MH, Goel VK.**
A technique for measurement and description of three-dimensional six degree-of freedom motion of a body joint with an application to the human spine. *J Biomech* 1981;14:447-60.
78. **Peter Tang, MD, MPH, David H. Wei, MD, MS, Hiroaki Ueba, MD, Thomas R. Gardner, MCE, Melvin P. Rosenwasser, MD**
Scaphoid Excision and 4-Bone Arthrodesis Versus Proximal Row Carpectomy: A Comparison of Contact Biomechanics
J Hand Surg 2012;37A:1861-1867.
79. **Vipul N. Nanavati, MD, Frederick W. Werner, MME, Levi G. Sutton, BS, Joel Klena, MD**
Proximal Row Carpectomy: Role of a Radiocarpal Interposition Lateral Meniscal Allograft
J Hand Surg 2009;34A:251-257.
80. **S. Sobczak , P. Rotsaert , M. Vancabeke , S. Van Sint Jan , P. Salvia , V. Feipel**
Effects of proximal row carpectomy on wrist biomechanics: A cadaveric study
Clinical Biomechanics 26 (2011) 718-724
81. **MOOJEN T.M ET AL.**
In vivo analysis of carpal kinematics and comparative review of the literature.
J Hand Surg [Am] 2003;28(1):81-7.
82. **T. Fikry, T. Messaoudi , M. Errhimini**
Arthrodèses capitulaire et des trois os:quelle position du lunatum?
Congrès annuel de la Société française de chirurgie de la main / Chirurgie de la main 32 (2013) 426-491
83. **OBERLIN C.**
Les instabilités et désaxations du carpe. Bases anatomiques, étude clinique et radiologique.
Conférences d'Enseignement de la SOFCOT 1990 ; 38 : 235-250.
84. **PALMER AK, WERNER FW, MURPHY D, GLISSON R**
Functional wrist motion: a biomechanical study.
J Hand Surg 1985;10A:39-46.
85. **ADAMS BD, GROSLAND NM, MURPHY DM, MCCULLOUGH M.**
Impact of impaired wrist motion on hand and upper-extremity performance.
J Hand Surg 2003;28A:898-903.

86. **A. Ait Soltana , A. El Bouanani , R. Chafik**
Lunatum et capitatum: mêmes courbures?
Chirurgie de la main 31 (2012) 376–436
87. **PALMER AK, WERNER FW, MURPHY D, GLISSON R.**
Functional wrist motion: a biomechanical study.
J Hand Surg 1985;10A:39–46.
88. **RYU JY, COONEY WP III, ASKEW LJ, AN KN, CHAO EY.**
Functional ranges of motion of the wrist joint.
J Hand Surg 1991;16A:409–419.
89. **GORDON L, KING D.**
Partial wrist arthrodesis for old ununited fractures of the carpal navicular.
Am J Surg. 1961;102: 460–4.
90. **BACH AW.**
Radiocarpal fusion [technique].
Tech Hand Up Extrem Surg. 2003;7: 63–9.
91. **R.BOUNAMEUR**
L'arthrodèse radioscapololunaire avec triquetrectomie et résection distale du scaphoïde dans le traitement des séquelles des traumatismes du poignet.
Thèse de Doctorat en médecine. Faculté de médecine et de pharmacie de marrakech
N °126/2010
92. **MINAMI A, KATO H, IWASAKI N, MINAMI M.**
Limited wrist fusions: comparison of results 22 and 89 months after surgery.
J Hand Surg [Am] 1999;24(1):133–7.
93. **SHIN EK, JUPITER JB.**
Radioscapholunate arthrodesis for advanced degenerative radiocarpal osteoarthritis [technique].
Tech Hand Up Extrem Surg. 2007;11:180–3.
94. **MCCOMBE D, IRELAND DCR, MCNAB I.**
Distal scaphoid excision after radioscapoid arthrodesis.
J Hand Surg Am. 2001;26:877–82.

95. **Adriano Toffoli, Hubert Lenoir ,Bertrand Coulet , Cyril Lazerges ,Christophe Bosch , Michel Chammas**
La congruence radiocapitale préopératoire est-elle un facteur prédictif du résultat fonctionnel des résections de première rangée des os du carpe? Évaluation morphométrique tridimensionnelle
Société française de chirurgie orthopédique et traumatologique, in REVUE DE CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE ET TRAUMATOLOGIE (2013) 99 ; 7 ; 103
96. **S. Delclaux, M. Rongièrès, C. Aprédoaei, N. Bonneville, P. Bonneville, P. Mansat**
Résultats cliniques et radiologiques à dix ans de recul moyen de l'arthrodèse capitolunaire. Série monocentrique de 12 patients
Chirurgie de la main 32 (2013) 310-316
97. **Arthrodèse médiocarpienne par vis-broches à compression**
N. Maire, S. Facca, S. Gouzou, P. Liverneaux
Chirurgie de la main 31 (2012) 24-29
98. **P. Pillard, C. Bismuth, E.**
Viguié Arthrodèse totale du carpe : indications, principes, complications, pronostics
Revue vétérinaire clinique (2014)
99. **J. LAULAN, E. MARTEAU, G. BACLE**
Osteoarthritis of the wrist
Conférences d'enseignement 2014
100. **T. Dréano, J. Bouillis, M. Ropars**
Évaluation d'une modification de la technique d'arthrodèse totale du poignet rhumatoïde selon Mannerfelt. À propos de 19 cas
Chirurgie de la main (2014)
101. **F. Lecomte, G. Wavreille, M. Limousin, G. Strouk, C. Fontaine, C. Chantelot**
Résection de la rangée proximale des os du carpe
Résultats de 25 cas au recul moyen de 30 mois
Revue de chirurgie orthopédique. 2007, 93, 444-454
102. **F. Welby, J.Y. Alnot**
La résection de la première rangée des os du carpe : poignet post-traumatique et maladie de Kienböck
Chirurgie de la main 22 (2003) 148-153

103. **J. Richou*, G. Moineau, R. Gérard, F. Lecourgrandmaison, H. Louboutin, W. Hu, D. Le Nen**
Résection première rangée des os du carpe : revue de 45 cas à moyen et long terme
Revue de chirurgie orthopédique et traumatologique (2009) 95S, S139—S145
104. **Andreas K. Dacho a,*, Steffen Baumeister b, Guenter Germann c, Michael Sauerbier d**
Comparison of proximal row carpectomy and midcarpal arthrodesis for the treatment of scaphoid nonunion advanced collapse (SNAC-wrist) and scapholunate advanced collapse (SLAC-wrist) in stage II
Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery (2008) 61, 1210e1218
105. **Mark S. Cohen, MD, Chicago, IL, Scott H. Kozin, MD, Philadelphia, PA**
Degenerative Arthritis of the Wrist: Proximal Row Carpectomy Versus Scaphoid Excision and Four-Corner Arthrodesis
J Hand Surg 2001; 26A:94-104.
106. **P. BOURJAT 1, G. FOUCHER 2**
Les incidences radiographiques en chirurgie de la main.
Ann Chir Main, 1~89, 8, n ° 1, 67-77.
107. **MASQUELET A.C.**
L'examen clinique du poignet.
Ann Chir Main, 1989, 8, n ° 2, 159-175.

Annexe 1: articles included in the systematic review

108. **Alnot JY, Apredoaei C, Frot B.**
Resection of the proximal row of the carpus. A review of 45 cases.
Int Orthop. 1997, 21: 145-50.
109. **Ashmead D, Watson HK, Damon C, Herber S, Paly W.**
Scapholunate Advanced collapse wrist salvage.
J Hand Surg Am. 1994, 19: 741-50.
110. **Backer K, Englert A, Lukas B.**
Results of four corner fusion: spider plate compared with K-wires.
J Hand Surg Eur. 2007, 32: 71.
111. **Balk ML, Imbriglia J.**
Proximal row carpectomy: indications, surgical technique, and long-term results. Atlas Hand Clin. 2004, 9: 177-85.

112. **Baumeister S, Germann G, Dragu A, Trankle M, Sauerbier M.**
[Functional results after proximal row carpectomy (PRC) in patients with SNAC/SLAC-wrist stage II].
Handchir Mikrochir Plast Chir. 2005, 37: 106-12.
113. **Bertrand M, Coulet B, Chammas M, Rigout C, Allieu Y.**
[Four-bone fusion of the wrist: review of 17 cases at an average 3.4 years follow-up].
Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot. 2002, 88: 286-92.
114. **Chung KC, Watt AJ, Kotsis SV.**
A prospective outcomes study of four-corner wrist arthrodesis using a circular limited wrist fusion plate for stage II scapholunate advanced collapse wrist deformity.
Plast Reconstr Surg. 2006, 118: 433-42.
115. **Cohen MS, Kozin SH.**
Degenerative arthritis of the wrist: proximal row carpectomy versus scaphoid excision and four-corner arthrodesis.
J Hand Surg Am. 2001, 26: 94-104.
116. **Crabbe WA.**
Excision of the proximal row of the carpus.
J Bone Joint Surg Br. 1964, 46: 708-11.
117. **Culp RW, McGuigan FX, Turner MA, Lichtman DM, Osterman AL, McCarroll HR.**
Proximal row carpectomy: a multicenter study.
J Hand Surg Am. 1993, 18: 19-25.
118. **Dacho AK, Baumeister S, Germann G, Sauerbier M.**
Comparison of proximal row carpectomy and midcarpal arthrodesis for the treatment of scaphoid nonunion advanced collapse (SNAC-wrist) and scapholunate advanced collapse (SLAC-wrist) in stage II.
J Plast Reconstr Aesthet Surg. 2008, 61: 1210-8.
119. **Dacho A, Grundel J, Holle G, Germann G, Sauerbier M.**
Long-term results of midcarpal arthrodesis in the treatment of scaphoid nonunion advanced collapse (SNAC-wrist) and scapholunate advanced collapse (SLAC-wrist). Ann Plast Surg. 2006, 56: 139-44.

120. **De Smet L, Degreef I, Robijns F, Truyen J, Deprez P.**
Salvage procedures for degenerative osteoarthritis of the wrist due to advanced carpal collapse.
Acta Orthop Belg. 2006a, 72: 535-40.
121. **De Smet L, Robijns F, Degreef I.**
Outcome of proximal row carpectomy. Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg. 2006b, 40: 302-6.
122. **Della Santa D, Beaulieu J-Y, Glauser T, Sennwald G, Mathys L.**
Proximal row carpectomy versus four corner fusion: a comparative study.
J Hand Surg Eur. 2007, 32: 70.
123. **El-Mowafi H, El-Hadidi M, Boghdady GW, Hasanein EY.**
Functional outcome of four-corner arthrodesis for treatment of grade IV scaphoid non-union.
Acta Orthop Belg. 2007, 73: 604-11.
124. **Espinoza DP, Koch N, Schertenlieb P, Egloff DV.**
Four-corner bone arthrodesis by dorsal plating: spider vs rectangular plate.
J Hand Surg Eur. 2008, 33: 89-90.
125. **Foucher G, Chmiel Z.**
[Excision of the proximal row of the carpal bones.
Apropos of 21 patients].
Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot. 1992, 78: 372-8.
126. **Garcia-Lopez A, Perez-Ubeda MJ, Marco F, Molina M, Lopez-Duran L.**
A modified technique of four-bone fusion for advanced carpal collapse (SLAC/SNAC wrist).
J Hand Surg Br. 2001, 26: 352-4.
127. **Genestet P, Bellemere P, Chaise F et al.**
Watson four bones fusion with quadripodal memory staple.
J Hand Surg Eur. 2007, 32: 71-2.
128. **Gohritz A, Gohla T, Stutz N et al.**
Special aspects of wrist arthritis management for SLAC and SNAC wrists using midcarpal arthrodesis: results of bilateral operations and conversion to total arthrodesis.
Bull Hosp Jt Dis. 2005, 63: 41-8.

- 129. Green DP.**
Proximal row carpectomy.
Hand Clin. 1987, 3: 163–8.
- 130. Imbriglia JE, Broudy AS, Hagberg WC, McKernan D. Proximal row carpectomy: clinical evaluation.**
J Hand Surg Am. 1990, 15: 426–30.
- 131. Inglis AE, Jones EC.**
Proximal-row carpectomy for diseases of the proximal row.
J Bone Joint Surg Am. 1977, 59: 460–3.
- 132. Jebson PJ, Hayes EP, Engber WD.**
Proximal row carpectomy: a minimum 10-year follow-up study.
J Hand Surg Am. 2003, 28: 561–9.
- 133. Kadji O, Duteille F, Dautel G, Merle M.**
[Four bone versus capito-lunate limited carpal fusion. Report of 40 cases].
Chir Main. 2002, 21: 5–12.
- 134. Kendall CB, Brown TR, Millon SJ, Rudisill Jr LE, Sanders JL, Tanner SL.**
Results of four-corner arthrodesis using dorsal circular plate fixation.
J Hand Surg Am. 2005, 30: 903–7.
- 135. Kitzinger HB, Low S, Karle B, Lanz U, Krimmer H.**
[The posttraumatic carpal collapse: long-term results after midcarpal fusion].
Handchir Mikrochir Plast Chir. 2003, 35: 282–7.
- 136. Krakauer JD, Bishop AT, Cooney WP.**
Surgical treatment of scapholunate advanced collapse.
J Hand Surg Am. 1994, 19: 751–9.
- 137. Krimmer H, Wiemer P, Kalb K.**
[Comparative outcome assessment of the wrist joint: mediocarpal partial arthrodesis and total arthrodesis].
Handchir Mikrochir Plast Chir. 2000, 32: 369–74.
- 138. Le Bourg M, Raimbeau G, Belot N, Dos Remedios C, Saint Cast Y, Fouque PA.**
Four bone fusion associated with scaphoidectomy: greater than 10 years follow-up results from a retrospective study of 43 consecutive cases.
J Hand Surg Eur. 2008, 33: 89.

- 139. Lecomte F, Wavreille G, Limousin M, Strouk G, Fontaine C, Chantelot C.**
[Proximal row carpectomy: 25 cases].
Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot. 2007, 93: 444-54.
- 140. Legre R, Sassoon D.**
[Multicentric study of 143 cases of resection of the proximal carpal bones].
Ann Chir Main Memb Super. 1992, 11: 257-63.
- 141. Luchetti R, Soragni O, Fairplay T.**
Proximal row carpectomy through a palmar approach.
J Hand Surg Br. 1998, 23: 406-9.
- 142. Lukas B.**
Treatment of advanced carpal collapse: proximal row carpectomy (PRC) or four corner fusion (FCF).
J Hand Surg Br. 2006, 31: 43.
- 143. Merrell GA, McDermott EM, Weiss AP.**
Four-corner arthrodesis using a circular plate and distal radius bone grafting: a consecutive case series.
J Hand Surg Am. 2008, 33: 635-42.
- 144. Neviaser RJ.**
Proximal row carpectomy for posttraumatic disorders of the carpus.
J Hand Surg Am. 1983, 8: 301-5.
- 145. Pilato G, Bini A, Turino S, Vicario A.**
Four corner fusion in the treatment of SNAC and SLAC wrist. Our experience and review of the literature.
J Hand Surg Eur. 2008, 33: 90.
- 146. Sadun R, Pagnotta A, Genzini A, Mastrantuono M.**
Clinical and CT evaluation of four corner arthrodesis with spider circular plate in the treatment of SLAC/SNAC wrist.
J Hand Surg Br. 2006, 31: 43.
- 147. Saffar P, Fakhoury B.**
[Resection of the proximal carpal bones versus partial arthrodesis in carpal instability].
Ann Chir Main Memb Super. 1992, 11: 276-80.

148. **Sauerbier M, Trankle M, Linsner G, Bickert B, Germann G.**
Midcarpal arthrodesis with complete scaphoid excision and interposition bone graft in the treatment of advanced carpal collapse (SNAC/SLAC wrist): operative technique and outcome assessment.
J Hand Surg Br. 2000, 25: 341-5.
149. **Schernberg F, Lamarque B, Genevray JC, Gerard Y.**
[First row carpectomy (author's transl.)].
Ann Chir. 1981, 35: 269-74.
150. **Shindle MK, Burton KJ, Weiland AJ, Domb BG, Wolfe SW.**
Complications of circular plate fixation for four-corner arthrodesis.
J Hand Surg Br. 2007, 32: 50-3.
151. **Steenwerckx A, De Smet L, Zachee B, Fabry G.**
Proximal row carpectomy: an alternative to wrist fusion?
Acta Orthop Belg. 1997, 63: 1-7.
152. **Tomaino MM, Miller RJ, Cole I, Burton RI.**
Scapholunate advanced collapse wrist: proximal row carpectomy or limited wrist arthrodesis with scaphoid excision?
J Hand Surg Am. 1994, 19: 134-42.
153. **Trankle M, Sauerbier M, Blum K, Bickert B, Germann G.**
[Proximal row carpectomy: a motion-preserving procedure in the treatment of advanced carpal collapse].
Unfallchirurg. 2003, 106: 1010-5.
154. **Vance MC, Hernandez JD, Didonna ML, Stern PJ.**
Complications and outcome of four-corner arthrodesis: circular plate fixation versus traditional techniques.
J Hand Surg Am. 2005, 30: 1122-7.
155. **Vanhove W, De Vil J, Van Seymortier P, Boone B, Verdonk R.**
Proximal row carpectomy versus four-corner arthrodesis as a treatment for SLAC (scapholunate advanced collapse) wrist.
J Hand Surg Eur. 2008, 33: 118-25.
156. **Voche P, Merle M.**
[Arthrodesis of 4 bones of the wrist. Study of 12 follow-up cases].
Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot. 1993, 79: 456-63.

157. **Watson HK, Weinzwieg J, Guidera PM, Zeppieri J, Ashmead D.**
One thousand intercarpal arthrodeses.
J Hand Surg Br. 1999, 24: 307-15.
158. **Welby F, Alnot JY.**
[Resection of the first row of carpal bones: post-traumatic wrist and Kienbock's disease].
Chir Main. 2003, 22: 148-53.
159. **Winkler FJ, Heers G, Borisch N, Grifka J.**
Mid-term results after scaphoid-excision and four-corner wrist arthrodesis using K-wires for stage II and stage III scapho-lunate and scaphoid non-union advanced collapse.
J Hand Surg Eur. 2008, 33: 89.
160. **Wyrick JD.**
Proximal row carpectomy and intercarpal arthrodesis for the management of wrist arthritis.
J Am Acad Orthop Surg. 2003, 11: 277-81.
161. **Wyrick JD, Stern PJ, Kiefhaber TR.**
Motion-preserving procedures in the treatment of scapholunate advanced collapse wrist: proximal row carpectomy versus four-corner arthrodesis.
J Hand Surg Am. 1995, 20: 965-70.

قسم الطبيب

اقسمُ باللهِ العَظِيمِ

أن أراقبَ اللهَ في مِهْنَتِي.

وأن أصونَ حياةَ الإنسانِ في كافّةِ أدوارها في كل الظروف والأحوال

بأذلةٍ وسُعي في استنقاذها من الهلاكِ والمرَضِ والألمِ والقلقِ.

وأن أحفظَ للناسِ كرامَتَهُمْ، وأستُرَ عَوْرَتَهُمْ، وأكتمَ سِرَّهُمْ.

وأن أكونَ على الدوامِ من وسائلِ رحمةِ الله، باذلاً رِعايَتِي الطبيّةَ للقريبِ والبعيدِ،

للسالِحِ والطالِحِ، والصديقِ والعدوِ.

وأن أثابرَ على طلبِ العلمِ، أسخِره لنفعِ الإنسانِ .. لا لأذاهِ.

وأن أوقِرَ مَنْ علّمني، وأُعلِّمَ مَنْ يصغرنِي، وأكونَ أخْتاً لِكُلِّ زميلٍ في المِهْنَةِ الطُبيّةِ

مُتعاونينَ على البرِّ والتقوى.

وأن تكونَ حياتي مُصدّقَ إيماني في سِرِّي وَعَلَانِيَتِي ،

نَفْيَةً مِمَّا يَشِينُهَا تَجَاهَ اللهَ وَرَسُولِهِ وَالْمُؤْمِنِينَ.

والله على ما أقول شهيد

دراسة شكل الانحناءات العليا للعظم الهلالي والعظم الكبير

الأطروحة

قدمت ونوقشت علانية يوم 25 / 05 / 2016

من طرف

الآنسة كوثر الجلوني

المزودة في 14 ماي 1989 بمراكش

لنيل شهادة الدكتوراه في الطب

الكلمات الأساسية:

العظم الهلالي - العظم الكبير - دائرة التلامس - الانصهار المفصلي بين العظم الكبير و العظم الهلالي -
استئصال الصف الأول من الرسغ.

اللجنة

الرئيس

المشرف

الحكام

ن. منصوري

أستاذة في الجراحة التجميلية والتقويمية

ط. فكري

أستاذ في جراحة العظام والمفاصل

ح. الهوري

أستاذة مبرزة في جراحة العظام والمفاصل

ر. شافق

أستاذ مبرز في جراحة العظام والمفاصل

م. مضهر

أستاذ مبرز في جراحة العظام والمفاصل

السيدة

السيد

السيدة

السيد

السيد