



**HAL**  
open science

# État des lieux en allongement osseux de la main en chirurgie pédiatrique

Thomas Sarradin

► **To cite this version:**

Thomas Sarradin. État des lieux en allongement osseux de la main en chirurgie pédiatrique. Sciences du Vivant [q-bio]. 2022. dumas-03837967

**HAL Id: dumas-03837967**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03837967v1>**

Submitted on 3 Nov 2022

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

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

**Etat des lieux en logement osseux de la main en chirurgie pédiatrique**

# **T H E S E**

**Présentée et publiquement soutenue devant**

**LA FACULTÉ DES SCIENCES MEDICALES ET PARAMEDICALES**

**DE MARSEILLE**

**Le 28 Octobre 2022**

**Par Monsieur Thomas SARRADIN**

**Né le 12 janvier 1992 à Montpellier (34)**

**Pour obtenir le grade de Docteur en Médecine**

**D.E.S. de CHIRURGIE PEDIATRIQUE OPTION ORTHOPEDIE PEDIATRIQUE**

**Membres du Jury de la Thèse :**

**Monsieur le Professeur LAUNAY Franck**

**Président**

**Monsieur le Professeur LEGRÉ Régis**

**Assesseur**

**Monsieur le Docteur GUERO Stéphane**

**Assesseur**

**Monsieur le Professeur CAPTIER Guillaume**

**Assesseur**

**Madame le Docteur JALOUX Charlotte**

**Directeur**



## FACULTÉ DES SCIENCES MÉDICALES & PARAMÉDICALES

<b>Doyen</b>	:	<b>Pr. Georges LEONETTI</b>
Vice-Doyen aux affaires générales	:	Pr. Patrick DESSI
Vice-Doyen aux professions paramédicales	:	Pr. Philippe BERBIS
Conseiller	:	Pr. Patrick VILLANI

### **Asseseurs :**

➤ aux études	:	Pr. Kathia CHAUMOITRE
➤ à la recherche	:	Pr. Jean-Louis MEGE
➤ à l'unité mixte de formation continue en santé	:	Pr. Justin MICHEL
➤ pour le secteur NORD	:	Pr. Stéphane BERDAH
➤ Groupements Hospitaliers de territoire	:	Pr. Jean-Noël ARGENSON
➤ aux masters	:	Pr. Pascal ADALIAN

### **Chargés de mission :**

➤ sciences humaines et sociales	:	Pr. Pierre LE COZ
➤ relations internationales	:	Pr. Stéphane RANQUE
➤ DU/DIU	:	Pr. Véronique VITTON
➤ DPC, disciplines médicales & biologiques	:	Pr. Frédéric CASTINETTI
➤ DPC, disciplines chirurgicales	:	Dr. Thomas GRAILLON

## ÉCOLE DE MEDECINE

<b>Directeur</b>	:	<b>Pr. Jean-Michel VITON</b>
------------------	---	------------------------------

### **Chargés de mission**

▪ PACES – Post-PACES	:	Pr. Régis GUIEU
▪ DFGSM	:	Pr. Anne-Laure PELISSIER
▪ DFASM	:	Pr. Marc BARTHET
▪ Préparation aux ECN	:	Dr Aurélie DAUMAS
▪ DES spécialités	:	Pr. Pierre-Edouard FOURNIER
▪ DES stages hospitaliers	:	Pr. Benjamin BLONDEL
▪ DES MG	:	Pr. Christophe BARTOLI
▪ Démographie médicale	:	Dr. Noémie RESSEGUIER
▪ Etudiant	:	Elise DOMINJON

### ÉCOLE DE DE MAIEUTIQUE

**Directrice** : **Madame Carole ZAKARIAN**

**Chargés de mission**

- 1<sup>er</sup> cycle : Madame Estelle BOISSIER
- 2<sup>ème</sup> cycle : Madame Cécile NINA

### ÉCOLE DES SCIENCES DE LA RÉADAPTATION

**Directeur** : **Monsieur Philippe SAUVAGEON**

**Chargés de mission**

- Masso- kinésithérapie 1<sup>er</sup> cycle : Madame Béatrice CAORS
- Masso-kinésithérapie 2<sup>ème</sup> cycle : Madame Joannie HENRY
- Mutualisation des enseignements : Madame Géraldine DEPRES

### ÉCOLE DES SCIENCES INFIRMIERES

**Directeur** : **Monsieur Sébastien COLSON**

**Chargés de mission**

- Chargée de mission : Madame Sandrine MAYEN RODRIGUES
- Chargé de mission : Monsieur Christophe ROMAN

## PROFESSEURS HONORAIRES

MM	AGOSTINI Serge	MM	DELARQUE Alain
	ALBANESE Jacques		DEVIN Robert
	ALDIGHERI René		DEVRED Philippe
	ALESSANDRINI Pierre		DJIANE Pierre
	ALLIEZ Bernard		DONNET Vincent
	AQUARON Robert		DUCASSOU Jacques
	ARGEME Maxime		DUFOUR Michel
	ASSADOURIAN Robert		DUMON Henri
	AUFFRAY Jean-Pierre		DURAND Jean-Marc
	AUTILLO-TOUATI Amapola		ENJALBERT Alain
	AZORIN Jean-Michel		FAUGERE Gérard
	BAILLE Yves		FAVRE Roger
	BARDOT Jacques		FIECHI Marius
	BARDOT André		FARNARIER Georges
	BERARD Pierre		FIGARELLA Jacques
	BERGOIN Maurice		FIGARELLA-BRANGER Dominique
	BERLAND Yvon		FONTES Michel
	BERNARD Dominique		FRANCES Yves
	BERNARD Jean-Louis		FRANCOIS Georges
	BERNARD Pierre-Marie		FUENTES Pierre
	BERTRAND Edmond		GABRIEL Bernard
	BISSET Jean-Pierre		GALINIER Louis
	BLANC Bernard		GALLAIS Hervé
	BLANC Jean-Louis		GAMERRE Marc
	BOLLINI Gérard		GARCIN Michel
	BONGRAND Pierre		GARNIER Jean-Marc
	BONNEAU Henri		GAUTHIER André
	BONNOIT Jean		GERARD Raymond
	BORY Michel		GEROLAMI-SANTANDREA André
	BOTTA Alain		GIUDICELLI Sébastien
	BOTTA-FRIDLUND Danielle		GOUDARD Alain
	BOUBLI Léon		GOUIN François
	BOURGEADE Augustin		GRILLO Jean-Marie
	BOUVENOT Gilles		GRIMAUD Jean-Charles
	BOUYALA Jean-Marie		GRISOLI François
	BREMOND Georges		GROULIER Pierre
	BRICOT René		GUYS Jean-Michel
	BRUNET Christian		HADIDA/SAYAG Jacqueline
	BUREAU Henri		HARLE Jean-Robert
	CAMBOULIVES Jean		HASSOUN Jacques
	CANNONI Maurice		HEIM Marc
	CARTOUZOU Guy		HOUEL Jean
	CAU Pierre		HUGUET Jean-François
	CHABOT Jean-Michel		JAQUET Philippe
	CHAMLIAN Albert		JAMMES Yves
	CHARPIN Denis		JOUVE Paulette
	CHARREL Michel		JUHAN Claude
	CHAUVEL Patrick		JUIN Pierre
	CHOUX Maurice		KAPHAN Gérard
	CIANFARANI François		KASBARIAN Michel
	CLAVERIE Jean-Michel		KLEISBAUER Jean-Pierre
	CLEMENT Robert		LACHARD Jean
	COMBALBERT André		LAFFARGUE Pierre
	CONTE-DEVOLX Bernard		LAUGIER René
	CORRIOL Jacques		LE TREUT Yves
	COULANGE Christian		LEGRE Régis
	CURVALE Georges		LEVY Samuel
	DALMAS Henri		LOUCHET Edmond
	DE MICO Philippe		LOUIS René
	DELPERO Jean-Robert		LUCIANI Jean-Marie
	DESSEIN Alain		MAGALON Guy

## PROFESSEURS HONORAIRES

MM MAGNAN Jacques  
MALLAN- MANCINI Josette  
MALMEJAC Claude  
MARANINCHI Dominique  
MARTIN Claude  
MATTEI Jean François  
MERCIER Claude  
MICHOTEY Georges  
MIRANDA François  
MONFORT Gérard  
MONGES André  
MONGIN Maurice  
MUNDLER Olivier  
NAZARIAN Serge  
NICOLI René  
NOIRCLERC Michel  
OLMER Michel  
OREHEK Jean  
PANUEL Michel  
PAPY Jean-Jacques  
PAULIN Raymond  
PELOUX Yves  
PENAUD Antony  
PENE Pierre  
PIANA Lucien  
PICAUD Robert  
PIGNOL Fernand  
POGGI Louis  
POITOUT Dominique  
PONCET Michel  
POUGET Jean  
PRIVAT Yvan  
QUILICHINI Francis  
RANQUE Jacques  
RANQUE Philippe  
RAOULT Didier  
RICHAUD Christian  
RIDINGS Bernard  
ROCHAT Hervé  
ROHNER Jean-Jacques  
ROUX Hubert  
ROUX Michel  
RUFO Marcel  
SAHEL José  
SALAMON Georges  
SALDUCCI Jacques  
SAMBUC Roland  
SAN MARCO Jean-Louis  
SANKALE Marc  
SARACCO Jacques  
SARLES Jacques  
SARLES - PHILIP Nicole  
SASTRE Bernard  
SCHIANO Alain  
SCOTTO Jean-Claude  
SEBAHOUN Gérard  
SEITZ Jean-François  
SERMENT Gérard  
SOULAYROL René  
TAMALET Jacques  
TARANGER-CHARPIN Colette  
THIRION Xavier  
THOMASSIN Jean-Marc  
TRIGLIA Jean-Michel  
UNAL Daniel  
VAGUE Philippe  
VAGUE/JUHAN Irène  
VANUXEM Paul  
VERVLOET Daniel  
VIALETTES Bernard  
WEILLER Pierre-Jean

## EMERITAT

### 2008

M. le Professeur	LEVY Samuel	31/08/2011
Mme le Professeur	JUHAN-VAGUE Irène	31/08/2011
M. le Professeur	PONCET Michel	31/08/2011
M. le Professeur	KASBARIAN Michel	31/08/2011
M. le Professeur	ROBERTOUX Pierre	31/08/2011

### 2009

M. le Professeur	DJIANE Pierre	31/08/2011
M. le Professeur	VERVLOET Daniel	31/08/2012

### 2010

M. le Professeur	MAGNAN Jacques	31/12/2014
------------------	----------------	------------

### 2011

M. le Professeur	DI MARINO Vincent	31/08/2015
M. le Professeur	MARTIN Pierre	31/08/2015
M. le Professeur	METRAS Dominique	31/08/2015

### 2012

M. le Professeur	AUBANIAC Jean-Manuel	31/08/2015
M. le Professeur	BOUVENOT Gilles	31/08/2015
M. le Professeur	CAMBOULIVES Jean	31/08/2015
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2015
M. le Professeur	MATTEI Jean-François	31/08/2015
M. le Professeur	OLIVER Charles	31/08/2015
M. le Professeur	VERVLOET Daniel	31/08/2015

### 2013

M. le Professeur	BRANCHEREAU Alain	31/08/2016
M. le Professeur	CARAYON Pierre	31/08/2016
M. le Professeur	COZZONE Patrick	31/08/2016
M. le Professeur	DELMONT Jean	31/08/2016
M. le Professeur	HENRY Jean-François	31/08/2016
M. le Professeur	LE GUICHAOUA Marie-Roberte	31/08/2016
M. le Professeur	RUFO Marcel	31/08/2016
M. le Professeur	SEBAHOUN Gérard	31/08/2016

### 2014

M. le Professeur	FUENTES Pierre	31/08/2017
M. le Professeur	GAMERRE Marc	31/08/2017
M. le Professeur	MAGALON Guy	31/08/2017
M. le Professeur	PERAGUT Jean-Claude	31/08/2017
M. le Professeur	WEILLER Pierre-Jean	31/08/2017

### 2015

M. le Professeur	COULANGE Christian	31/08/2018
M. le Professeur	COURAND François	31/08/2018
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2016
M. le Professeur	MATTEI Jean-François	31/08/2016
M. le Professeur	OLIVER Charles	31/08/2016
M. le Professeur	VERVLOET Daniel	31/08/2016

## EMERITAT

### 2016

M. le Professeur	BONGRAND Pierre	31/08/2019
M. le Professeur	BOUVENOT Gilles	31/08/2017
M. le Professeur	BRUNET Christian	31/08/2019
M. le Professeur	CAU Pierre	31/08/2019
M. le Professeur	COZZONE Patrick	31/08/2017
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2017
M. le Professeur	FONTES Michel	31/08/2019
M. le Professeur	JAMMES Yves	31/08/2019
M. le Professeur	NAZARIAN Serge	31/08/2019
M. le Professeur	OLIVER Charles	31/08/2017
M. le Professeur	POITOUT Dominique	31/08/2019
M. le Professeur	SEBAHOUN Gérard	31/08/2017
M. le Professeur	VIALETTES Bernard	31/08/2019

### 2017

M. le Professeur	ALESSANDRINI Pierre	31/08/2020
M. le Professeur	BOUVENOT Gilles	31/08/2018
M. le Professeur	CHAUVEL Patrick	31/08/2020
M. le Professeur	COZZONE Pierre	31/08/2018
M. le Professeur	DELMONT Jean	31/08/2018
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2018
M. le Professeur	OLIVER Charles	31/08/2018
M. le Professeur	SEBBAHOUN Gérard	31/08/2018

### 2018

M. le Professeur	MARANINCHI Dominique	31/08/2021
M. le Professeur	BOUVENOT Gilles	31/08/2019
M. le Professeur	COZZONE Pierre	31/08/2019
M. le Professeur	DELMONT Jean	31/08/2019
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2019
M. le Professeur	OLIVER Charles	31/08/2019
M. le Professeur	RIDINGS Bernard	31/08/2021

### 2019

M. le Professeur	BERLAND Yvon	31/08/2022
M. le Professeur	CHARPIN Denis	31/08/2022
M. le Professeur	CLAVERIE Jean-Michel	31/08/2022
M. le Professeur	FRANCES Yves	31/08/2022
M. le Professeur	CAU Pierre	31/08/2020
M. le Professeur	COZZONE Patrick	31/08/2020
M. le Professeur	DELMONT Jean	31/08/2020
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2020
M. le Professeur	FONTES Michel	31/08/2020
M. le Professeur	MAGALON Guy	31/08/2020
M. le Professeur	NAZARIAN Serge	31/08/2020
M. le Professeur	OLIVER Charles	31/08/2020
M. le Professeur	WEILLER Pierre-Jean	31/08/2020

### 2020

M. le Professeur	DELPERO Jean-Robert	31/08/2023
M. le Professeur	GRIMAUD Jean-Charles	31/08/2023
M. le Professeur	SAMBUC Roland	31/08/2023
M. le Professeur	SEITZ Jean-François	31/08/2023
M. le Professeur	BERLAND Yvon	31/08/2022
M. le Professeur	CHARPIN Denis	31/08/2022
M. le Professeur	CLAVERIE Jean-Michel	31/08/2022
M. le Professeur	FRANCES Yves	31/08/2022
M. le Professeur	BONGRAND Pierre	31/08/2021
M. le Professeur	COZZONE Patrick	31/08/2021
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2021
M. le Professeur	FONTES Michel	31/08/2021

## EMERITAT

### 2020

M. le Professeur	NAZARIAN Serge	31/08/2021
M. le Professeur	WEILLER Pierre-Jean	31/08/2021

### 2021

M. le Professeur	BOUBLI Léon	31/08/2024
M. le Professeur	LEGRE Régis	31/08/2024
M. le Professeur	RAOULT Didier	31/08/2024
M. le Professeur	DELPERO Jean-Robert	31/08/2023
M. le Professeur	GRIMAUD Jean-Charles	31/08/2023
M. le Professeur	SAMBUC Roland	31/08/2023
M. le Professeur	SEITZ Jean-François	31/08/2023
M. le Professeur	BERLAND Yvon	31/08/2022
M. le Professeur	CHARPIN Denis	31/08/2022
M. le Professeur	CLAVERIE Jean-Michel	31/08/2022
M. le Professeur	FRANCES Yves	31/08/2022
M. le Professeur	BONGRAND Pierre	31/08/2022
M. le Professeur	BRUNET Christian	31/08/2022
M. le Professeur	COZZONE Patrick	31/08/2022
M. le Professeur	FAVRE Roger	31/08/2022
M. le Professeur	FONTES Michel	31/08/2022
M. le Professeur	NAZARIAN Serge	31/08/2022
M. le Professeur	OLIVER Charles	31/08/2022

### 2020

### 2022

Mme le Professeur	FIGARELLA-BRANGER Dominique	31/08/2025
M. le Professeur	HARLE Jean-Robert	31/08/2025
M. le Professeur	PANUEL Michel	31/08/2025
M. le Professeur	BOUBLI Léon	31/08/2024
M. le Professeur	LEGRE Régis	31/08/2024
M. le Professeur	RAOULT Didier	31/08/2024
M. le Professeur	DELPERO Jean-Robert	31/08/2023
M. le Professeur	GRIMAUD Jean-Charles	31/08/2023
M. le Professeur	SAMBUC Roland	31/08/2023
M. le Professeur	SEITZ Jean-François	31/08/2023
M. le Professeur	BERLAND Yvon	31/08/2023
M. le Professeur	CHARPIN Denis	31/08/2023
M. le Professeur	CLAVERIE Jean-Michel	31/08/2023
M. le Professeur	BONGRAND Pierre	31/08/2023
M. le Professeur	COZZONE Patrick	31/08/2023
M. le Professeur	FONTES Michel	31/08/2023
M. le Professeur	MARANINCHI Dominique	31/08/2023
M. le Professeur	NAZARIAN Serge	31/08/2023

## DOCTEURS HONORIS CAUSA

**1967**

MM. les Professeurs DADI (Italie)  
CID DOS SANTOS (Portugal)

**1974**

MM. les Professeurs MAC ILWAIN (Grande-Bretagne)  
T.A. LAMBO (Suisse)

**1975**

MM. les Professeurs O. SWENSON (U.S.A.)  
Lord J.WALTON of DETCHANT (Grande-Bretagne)

**1976**

MM. les Professeurs P. FRANCHIMONT (Belgique)  
Z.J. BOWERS (U.S.A.)

**1977**

MM. les Professeurs C. GAJDUSEK-Prix Nobel (U.S.A.)  
C.GIBBS (U.S.A.)  
J. DACIE (Grande-Bretagne)

**1978**

M. le Président F. HOUPHOUET-BOIGNY (Côte d'Ivoire)

**1980**

MM. les Professeurs A. MARGULIS (U.S.A.)  
R.D. ADAMS (U.S.A.)

**1981**

MM. les Professeurs H. RAPPAPORT (U.S.A.)  
M. SCHOU (Danemark)  
M. AMENT (U.S.A.)  
Sir A. HUXLEY (Grande-Bretagne)  
S. REFSUM (Norvège)

**1982**

M. le Professeur W.H. HENDREN (U.S.A.)

**1985**

MM. les Professeurs S. MASSRY (U.S.A.)  
KLINSMANN (R.D.A.)

**1986**

MM. les Professeurs E. MIHICH (U.S.A.)  
T. MUNSAT (U.S.A.)  
LIANA BOLIS (Suisse)  
L.P. ROWLAND (U.S.A.)

**1987**

M. le Professeur P.J. DYCK (U.S.A.)

**1988**

MM. les Professeurs R. BERGUER (U.S.A.)  
W.K. ENGEL (U.S.A.)  
V. ASKANAS (U.S.A.)  
J. WEHSTER KIRKLIN (U.S.A.)  
A. DAVIGNON (Canada)  
A. BETTARELLO (Brésil)

**1989**

M. le Professeur P. MUSTACCHI (U.S.A.)

<b>1990</b>		<b>DOCTEURS HONORIS CAUSA</b>
MM. les Professeurs	J.G. MC LEOD (Australie) J. PORTER (U.S.A.)	
<b>1991</b>		
MM. les Professeurs	J. Edward MC DADE (U.S.A.) W. BURGDORFER (U.S.A.)	
<b>1992</b>		
MM. les Professeurs	H.G. SCHWARZACHER (Autriche) D. CARSON (U.S.A.) T. YAMAMURO (Japon)	
<b>1994</b>		
MM. les Professeurs	G. KARPATI (Canada) W.J. KOLFF (U.S.A.)	
<b>1995</b>		
MM. les Professeurs	D. WALKER (U.S.A.) M. MULLER (Suisse) V. BONOMINI (Italie)	
<b>1997</b>		
MM. les Professeurs	C. DINARELLO (U.S.A.) D. STULBERG (U.S.A.) A. MEIKLE DAVISON (Grande-Bretagne) P.I. BRANEMARK (Suède)	
<b>1998</b>		
MM. les Professeurs	O. JARDETSKY (U.S.A.)	
<b>1999</b>		
MM. les Professeurs	J. BOTELLA LLUSIA (Espagne) D. COLLEN (Belgique) S. DIMAURO (U. S. A.)	
<b>2000</b>		
MM. les Professeurs	D. SPIEGEL (U. S. A.) C. R. CONTI (U.S.A.)	
<b>2001</b>		
MM. les Professeurs	P-B. BENNET (U. S. A.) G. HUGUES (Grande Bretagne) J-J. O'CONNOR (Grande Bretagne)	
<b>2002</b>		
MM. les Professeurs	M. ABEDI (Canada) K. DAI (Chine)	
<b>2003</b>		
M. le Professeur Sir	T. MARRIE (Canada) G.K. RADDA (Grande Bretagne)	
<b>2004</b>		
M. le Professeur	M. DAKE (U.S.A.)	
<b>2005</b>		
M. le Professeur	L. CAVALLI-SFORZA (U.S.A.)	
<b>2006</b>		
M. le Professeur	A. R. CASTANEDA (U.S.A.)	
<b>2007</b>		
M. le Professeur	S. KAUFMANN (Allemagne)	

## PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

AGOSTINI FERRANDES Aubert	COSTELLO Régis	HABIB Gilbert
ALIMI Yves	COURBIERE Blandine	HARDWIGSEN Jean
AMABILE Philippe	CRAVELLO Ludovic	HOUVENAEGHEL Gilles
<i>AMBROSI Pierre Surnombre</i>	CUISSET Thomas	HRAIECH Sami
ANDRE Nicolas	DA FONSECA David	JACQUIER Alexis
ARGENSON Jean-Noël	DAHAN-ALCARAZ Laetitia	JOURDE-CHICHE Noémie
ASTOUL Philippe	DANIEL Laurent	JOUVE Jean-Luc
ATTARIAN Shahram	DARMON Patrice	KAPLANSKI Gilles
AUDOUIN Bertrand	DAUMAS Aurélie	KARSENTY Gilles
AUQUIER Pascal	DAVID Thierry	<i>KERBAUL François détachement</i>
AVIERINOS Jean-François	D'ERCOLE Claude	KRAHN Martin
AZULAY Jean-Philippe	D'JOURNO Xavier	LAFFORGUE Pierre
<i>BAILLY Daniel Retraite au 2/11/2022</i>	DEHARO Jean-Claude	LAGIER Jean-Christophe
BARLIER-SETTI Anne	DELAPORTE Emmanuel	LAMBAUDIE Eric
BARLOGIS Vincent	<i>DENIS Danièle Surnombre</i>	LANCON Christophe
BARTHET Marc	DEVILLIER Raynier	LA SCOLA Bernard
BARTOLI Christophe	DISDIER Patrick	LAUNAY Franck
BARTOLI Jean-Michel	DODDOLI Christophe	LAVIEILLE Jean-Pierre
BARTOLI Michel	DRANCOURT Michel	LE CORROLLER Thomas
BARTOLOMEI Fabrice	DUBUS Jean-Christophe	LECHEVALLIER Eric
BASTIDE Cyrille	DUFFAUD Florence	LEHUCHER-MICHEL Marie-Pascale
BELIARD-LASSERRE Sophie	DUFOUR Henry	LEONE Marc
BENSOUSSAN Laurent	DUSSOL Bertrand	LEONETTI Georges
BERBIS Philippe	EBBO Mikaël	LEPIDI Hubert
BERBIS Julie	EUSEBIO Alexandre	<i>LEVY Nicolas disponibilité</i>
BERDAH Stéphane	FABRE Alexandre	LOOSVELD Marie
BEROUD Christophe	FAKHRY Nicolas	MACE Loïc
BERTRAND Baptiste	FAURE Alice	MAGNAN Pierre-Edouard
BERTUCCI François	FELICIAN Olivier	MANCINI Julien
BEYER-BERJOT Laura	FENOLLAR Florence	MEGE Jean-Louis
BLAISE Didier	FLECHER Xavier	MERROT Thierry
BLIN Olivier	FOUILLOUX Virginie	METZLER/GUILLEMAIN Catherine
BLONDEL Benjamin	FOURNIER Pierre-Edouard	MEYER/DUTOUR Anne
BOISSIER Romain	FRANCESCHI Frédéric	MICCALEF/ROLL Joëlle
BONIN/GUILLAUME Sylvie	FUENTES Stéphane	MICHEL Fabrice
BONELLO Laurent	GABERT Jean	MICHEL Gérard
BONNET Jean-Louis	GABORIT Bénédicte	MICHEL Justin
<i>BOUFI Mourad</i>	GAINNIER Marc	<i>MICHELET Pierre disponibilité</i>
BOYER Laurent	<i>GARCIA Stéphane disponibilité</i>	MILH Mathieu
BREGEON Fabienne	GARIBOLDI Vlad	MILLION Matthieu
BRETELLE Florence	GAUDART Jean	MOAL Valérie
BROUQUI Philippe	GAUDY-MARQUESTE Caroline	MORANGE Pierre-Emmanuel
BRUDER Nicolas	GENTILE Stéphanie	MOULIN Guy
BRUE Thierry	GERBEAUX Patrick	MOUTARDIER Vincent
BRUNET Philippe	GEROLAMI/SANTANDREA René	NAUDIN Jean
BURTEY Stéphane	GILBERT/ALESSI Marie-Christine	NICOLAS DE LAMBALLERIE Xavier
CARCOPINO-TUSOLI Xavier	GIORGI Roch	NICOLLAS Richard
CASANOVA Dominique	GIOVANNI Antoine	NGUYEN Karine
CASTINETTI Frédéric	GIRARD Nadine	OLIVE Daniel
CECCALDI Mathieu	GIRAUD/CHABROL Brigitte	OLLIVIER Matthieu
CERMOLACCE Michel	GONCALVES Anthony	OUAFIK L'Houcine
CHAGNAUD Christophe	GONZALEZ Jean- Michel	OVAERT-REGGIO Caroline
CHAMBOST Hervé	GRAILLON Thomas	PADOVANI Laetitia
CHAMPSAUR Pierre	GRANEL/REY Brigitte	PAGANELLI Franck
CHANEZ Pascal	GRANDVAL Philippe	PAPAZIAN Laurent
CHARAFFE-JAUFFRET Emmanuelle	GREILLIER Laurent	PAROLA Philippe
CHARREL Rémi	<i>GROB Jean-Jacques Retraite au 1/10/2022</i>	PELISSIER-ALICOT Anne-Laure
CHAUMOITRE Kathia	GUEDJ Eric	PELLETIER Jean
CHIARONI Jacques	GUIEU Régis	PERRIN Jeanne
CHINOT Olivier	GUIS Sandrine	PESENTI Sébastien
CHOSSEGROS Cyrille	GUYE Maxime	PETIT Philippe
COLLART Frédéric	GUYOT Laurent	PHAM Thao

## PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

PIERCECCHI/MARTI Marie-Dominique	ROUDIER Jean	VALERO René
PIQUET Philippe	SALAS Sébastien	VAROQUAUX Arthur Damien
PIRRO Nicolas	SARLON-BARTOLI Gabrielle	VELLY Lionel
POINSO François	SCAVARDA Didier	VEY Norbert
RACCAH Denis	SCHLEINITZ Nicolas	VIDAL Vincent
RADULESCO Thomas	SEBAG Frédéric	VIENS Patrice
RANQUE Stéphane	SIELEZNEFF Igor	VILLANI Patrick
REGIS Jean	SIMON Nicolas	VITON Jean-Michel
REYNAUD/GAUBERT Martine	STEIN Andréas	VITTON Véronique
REYNAUD Rachel	SUISSA Laurent	<i>VIEHWEGER Heide Elke détachement</i>
RICHARD/LALLEMAND Marie-Alet	TAIEB David	VIVIER Eric
RICHERI Raphaëlle	THOMAS Pascal	XERRI Luc
ROCHE Pierre-Hugues	THUNY Franck	ZIELESKIEWICZ Laurent
ROCH Antoine	TOSELLO Barthélémy	
ROCHWERGER Richard	TREBUCHON-DA FONSECA Agnès	
ROLL Patrice	TROPIANO Patrick	
ROSSI Dominique	<i>TSIMARATOS Michel détachement</i>	
ROSSI Pascal	TURRINI Olivier	

---

### PROFESSEUR DES UNIVERSITES

ADALIAN Pascal  
AGHABABIAN Valérie  
BELIN Pascal  
CHABANNON Christian  
CHABRIERE Eric  
COLSON Sébastien  
FERON François  
LE COZ Pierre  
LEVASSEUR Anthony  
RANJEVA Jean-Philippe  
SOBOL Hagay

### PROFESSEUR CERTIFIE

FRAISSE-MANGIALOMINI Jeanne

### PROFESSEUR DES UNIVERSITES ASSOCIE à MI-TEMPS

REVIS Joana

### PROFESSEUR DES UNIVERSITES MEDECINE GENERALE

GENTILE Gaëtan

### PROFESSEUR ASSOCIE DES UNIVERSITES à MI-TEMPS MEDECINE GENERALE

BARGIER Jacques  
JANCZEWSKI Aurélie

### PROFESSEUR DES UNIVERSITES ASSOCIE à TEMPS PLEIN DES DISCIPLINES MEDICALES

BOUSSUGES Alain

12

### PROFESSEUR DES UNIVERSITES ASSOCIE A MI-TEMPS DES DISCIPLINES MEDICALES

BOURVIS Nadège

Secrétariat Général - RH

MAJ 01.09.2022

## MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

AHERFI Sarah	GASTALDI Marguerite	ROBERT Thomas
ANGELAKIS Emmanouil ( <i>disponibilité</i> )	GAUDRY Marine	ROMANET Pauline
APPAY Romain	GELSI/BOYER Véronique	SABATIER Renaud
ATLAN Catherine ( <i>disponibilité</i> )	GIUSIANO COURCAMBECK Sophie	SARI-MINODIER Irène
BEGE Thierry	GOURIET Frédérique	SAULTIER Paul
BENYAMINE Audrey	GUERIN Carole	SAVEANU Alexandru
BIRNBAUM David	GUENOUN MEYSSIGNAC Daphné	STELLMANN Jan-Patrick
BOBOT Mickael	GUIDON Catherine	SUCHON Pierre
BONINI Francesca	GUIVARCH Jokthan	TABOURET Emeline
BOUCRAUT Joseph	HABERT Paul	TOGA Isabelle
BOULAMERY Audrey	HAUTIER Aurélie	TOMASINI Pascale
BOULLU/CIOCCA Sandrine	IBRAHIM KOSTA Manal	TROUDE Lucas
BOUSSEN Salah Michel	JALOUX Charlotte	TROUSSE Delphine
BUFFAT Christophe	JARROT Pierre-André	TUCHTAN-TORRENTS Lucile
CAMILLERI Serge	KASPI-PEZZOLI Elise	VELY Frédéric
CARRON Romain	L'OLLIVIER Coralie	VENTON Geoffroy
CASSAGNE Carole	LABIT-BOUVIER Corinne	VION-DURY Jean
CHAUDET Hervé	LAFAGE/POCHITALOFF-HUVALE Marina	ZATTARA/CANNONI Hélène
CHRETIEN Anne-Sophie	LAGARDE Stanislas	
COZE Carole	LAGIER Aude ( <i>disponibilité</i> )	
CUNY Thomas	LAGOUANELLE/SIMEONI Marie-Claude	
DADOUN Frédéric ( <i>disponibilité</i> )	LAMBERT Isabelle	
DALES Jean-Philippe	LENOIR Marien	
DARIEL Anne	LEVY/MOZZICONACCI Annie	
DEGEORGES/VITTE Joëlle ( <i>disponibilité</i> )	MAAROUF Adil	
DEHARO Pierre	MACAGNO Nicolas	
DELLIAUX Stéphane	MALISSEN Nausicaa	
DELTEIL Clémence	MAUES DE PAULA André	
DESPLAT/JEGO Sophie	MEGE Diane	
DUBOURG Grégory	MORAND-HUGGET Aurélie	
DUCONSEIL Pauline	MOTTOLA GHIGO Giovanna	
DUFOUR Jean-Charles	NINOVE Laetitia	
ELDIN Carole	NOUGAIREDE Antoine	
FOLETTI Jean- Marc	PAULMYER/LACROIX Odile	
FRANKEL Diane	RESSEGUIER Noémie	
FROMNOT Julien	ROBERT Philippe	

## MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

(mono-appartenants)

ABU ZINEH Mohammad	DESNUES Benoît	POGGI Marjorie
BARBACARU/PERLES T. A.	MARANINCHI Marie	RUEL Jérôme
BERLAND Caroline	MERHEJ/CHAUVEAU Vicky	THOLLON Lionel
BOYER Sylvie	MEZOUAR Soraya	THIRION Sylvie
DEGIOANNI/SALLE Anna	MINVIELLE/DEVICTOR Bénédicte retraite au 1/10/2022	VERNA Emeline

## MAITRE DE CONFERENCES DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE

CASANOVA Ludovic  
JEGO SABLIER Maëva

## MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES DE MEDECINE GENERALE à MI-TEMPS

BERNAL Alexis	ROUSSEAU-DURAND Raphaëlle
FIERLING Thomas	THERY Didier
FORTE Jenny	
MITILIAN Eva	

13

## **MAITRE DE CONFERENCES ASSOCIE à MI-TEMPS**

BOURRIQUEN Maryline  
LAZZAROTTO Sébastien  
LUCAS Guillaume  
MATHIEU Marion  
MAYENS-RODRIGUES Sandrine  
MELLINAS Marie  
MORIN-GALFOUT Sara  
ROMAN Christophe  
  
TRINQUET Laure  
VILLA Milène

## **CDI LRU TEMPS PLEIN ECOLE DES SCIENCES ET DE LA READAPTION**

### **FORMATION ERGOTHERAPIE**

BLANC Catheline  
DESPRES Géraldine  
GIRAUDIER Anaïs  
PAVE Julien

### **FORMATION PODOLOGIE**

GRIFFON Patricia  
PETITJEAN Aurélie

### **FORMATION ORTHOPTIE**

MONTICOLO Chloé

### **FORMATION MASSO-KINESITHERAPIE**

AUTHIER Guillaume  
CAORS Béatrice  
CHAULLET Karine  
ERCOLANO Bruno  
HENRY Joannie  
HOUDANT Benjamin  
MIRAPEIX Sébastien  
MULLER Philippe  
ROSTAGNO Stéphane

## **CDD LRU TEMPS PLEIN ECOLE DES SCIENCES INFIRMIERES**

CHAYS-AMANIA Audrey

## **CDD LRU TEMPS PLEIN ANGLAIS**

GILSINN Amanda

## **ATTACHE TEMPORAIRE D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE**

SACHAU-CARCEL Géraldine

## **CDI LRU ECOLE DE MAÏEUTIQUE**

CLADY Emilie  
FREMONDIERE Pierre  
MATTEO Caroline  
MONLEAU Sophie  
MUSSARD-HASSLER Pascale  
RIQUET Sébastien  
ZAKARIAN Carole

**PROFESSEURS DES UNIVERSITES et MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS  
PROFESSEURS ASSOCIES, MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES mono-appartenants**

**ANATOMIE 4201**

CHAMPSAUR Pierre (PU-PH)  
LE CORROLLER Thomas (PU-PH)  
PIRRO Nicolas (PU-PH)

GUENOUN-MEYSSIGNAC Daphné (MCU-PH)  
LAGIER Aude (MCU-PH) *disponibilité*

THOLLON Lionel (MCF) (60ème section)

**ANATOMIE ET CYTOLOGIE PATHOLOGIQUES 4203**

CHARAFE/JAUFFRET Emmanuelle (PU-PH)  
DANIEL Laurent (PU-PH)  
FIGARELLA/BRANGER Dominique (PU-PH)  
GARCIA Stéphane (PU-PH)  
XERRI Luc (PU-PH)

APPAY Romain (MCU-PH)  
DALES Jean-Philippe (MCU-PH)  
GIUSIANO COURCAMBECK Sophie (MCU PH)  
LABIT/BOUVIER Corinne (MCU-PH)  
MACAGNO Nicolas (MCU-PH)  
MAUES DE PAULA André (MCU-PH)

**ANESTHESIOLOGIE ET REANIMATION CHIRURGICALE ;  
MEDECINE URGENCE 4801**

BRUDER Nicolas (PU-PH)  
LEONE Marc (PU-PH)  
MICHEL Fabrice (PU-PH)  
VELLY Lionel (PU-PH)  
ZIELESKIEWICZ Laurent (PU-PH)

BOUSSEN Salah Michel (MCU-PH)  
GUIDON Catherine (MCU-PH)

**ANGLAIS 11**

FRAISSE-MANGIALOMINI Jeanne (PRCE)

**BIOLOGIE ET MEDECINE DU DEVELOPPEMENT  
ET DE LA REPRODUCTION ; GYNECOLOGIE MEDICALE 5405**

METZLER/GUILLEMAIN Catherine (PU-PH)  
PERRIN Jeanne (PU-PH)

**ANTHROPOLOGIE 20**

ADALIAN Pascal (PR)

DEGIOANNI/SALLE Anna (MCF)  
VERNA Emeline (MCF)

SACHAU-CARCEL Géraldine (ATER)

**BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE ; HYGIENE HOSPITALIERE 4501**

CHARREL Rémi (PU PH)  
DRANCOURT Michel (PU-PH)  
FENOLLAR Florence (PU-PH)  
FOURNIER Pierre-Edouard (PU-PH)  
NICOLAS DE LAMBALLERIE Xavier (PU-PH)  
LA SCOLA Bernard (PU-PH)

AHERFI Sarah (MCU-PH)  
ANGELAKIS Emmanouil (MCU-PH) *disponibilité*  
DUBOURG Grégory (MCU-PH)  
GOURIET Frédérique (MCU-PH)  
NOUGAIREDE Antoine (MCU-PH)  
NINOVE Laetitia (MCU-PH)

CHABRIERE Eric (PR) (64ème section)

LEVASSEUR Anthony (PR) (64ème section)  
DESNUES Benoit (MCF) ( 65ème section )  
MERHEJ/CHAUVEAU Vicky (MCF) (87ème section)

**BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLECULAIRE 4401**

BARLIER/SETTI Anne (PU-PH)  
GABERT Jean (PU-PH)  
GUIEU Régis (PU-PH)  
OUAFIK L'Houcine (PU-PH)

BUFFAT Christophe (MCU-PH)  
FROMNOT Julien (MCU-PH)  
MARLINGE Marion (MCU-PH)  
MOTTOLA GHIGO Giovanna (MCU-PH)  
ROMANET Pauline (MCU-PH)  
SAVEANU Alexandru (MCU-PH)

**BIOLOGIE CELLULAIRE 4403**

ROLL Patrice (PU-PH)

FRANKEL Diane (MCU-PH)  
GASTALDI Marguerite (MCU-PH)  
KASPI-PEZZOLI Elise (MCU-PH)  
LEVY-MOZZICONNACCI Annie (MCU-PH)

GUEDJ Eric (PU-PH)  
 GUYE Maxime (PU-PH)  
 TAIEB David (PU-PH)

BELIN Pascal (PR) (69ème section)  
 RANJEVA Jean-Philippe (PR) (69ème section)

CAMMILLERI Serge (MCU-PH)  
 VION-DURY Jean (MCU-PH)

BARBACARU/PERLES Téodora Adriana (MCF) (69ème section)

**BIOSTATISTIQUES, INFORMATIQUE MEDICALE  
 ET TECHNOLOGIES DE COMMUNICATION 4604**

GAUDART Jean (PU-PH)  
 GIORGI Roch (PU-PH)  
 MANCINI Julien (PU-PH)

CHAUDET Hervé (MCU-PH)  
 DUFOUR Jean-Charles (MCU-PH)

ABU ZAINEH Mohammad (MCF) (5ème section)  
 BOYER Sylvie (MCF) (5ème section)

**CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE 5002**

ARGENSON Jean-Noël (PU-PH)  
 BLONDEL Benjamin (PU-PH)  
 FLECHER Xavier (PU PH)  
 OLLIVIER Matthieu (PU-PH)  
 ROCHWERGER Richard (PU-PH)  
 TROPIANO Patrick (PU-PH)

**CANCEROLOGIE ; RADIOTHERAPIE 4702**

BERTUCCI François (PU-PH)  
 CHINOT Olivier (PU-PH)  
 DUFFAUD Florence (PU-PH)  
 GONCALVES Anthony PU-PH)  
 HOUVENAEGHEL Gilles (PU-PH)  
 LAMBAUDIE Eric (PU-PH)  
 PADOVANI Laetitia (PH-PH)  
 SALAS Sébastien (PU-PH)  
 VIENS Patrice (PU-PH)

SABATIER Renaud (MCU-PH)  
 TABOURET Emeline (MCU-PH)

AVIERINOS Jean-François (PU-PH)  
 BONELLO Laurent (PU PH)  
 BONNET Jean-Louis (PU-PH)  
 CUISSET Thomas (PU-PH)  
 DEHARO Jean-Claude (PU-PH)  
 FRANCESCHI Frédéric (PU-PH)  
 HABIB Gilbert (PU-PH)  
 PAGANELLI Franck (PU-PH)  
 THUNY Franck (PU-PH)

DEHARO Pierre (MCU PH)

**CHIRURGIE VISCERALE ET DIGESTIVE 5202**

BERDAH Stéphane (PU-PH)  
 BEYER-BERJOT Laura (PU-PH)  
 HARDWIGSEN Jean (PU-PH)  
 MOUTARDIER Vincent (PU-PH)  
 SEBAG Frédéric (PU-PH)  
 SIELEZNEFF Igor (PU-PH)  
 TURRINI Olivier (PU-PH)

BEGE Thierry (MCU-PH)  
 BIRNBAUM David (MCU-PH)  
 DUCONSEIL Pauline (MCU-PH)  
 GUERIN Carole (MCU PH)  
 MEGE Diane (MCU-PH)

**CHIRURGIE INFANTILE 5402**

FAURE Alice (PU PH)  
 JOUVE Jean-Luc (PU-PH)  
 LAUNAY Franck (PU-PH)  
 MERROT Thierry (PU-PH)  
 PESENTI Sébastien (PU-PH)  
 VIEHWEGER Heide Elke (PU-PH) détachement

DARIEL Anne (MCU-PH)

**CHIRURGIE MAXILLO-FACIALE ET STOMATOLOGIE 5503**

CHOSSEGROS Cyrille (PU-PH)  
 GUYOT Laurent (PU-PH)

FOLETTI Jean-Marc (MCU-PH)

**CHIRURGIE THORACIQUE ET CARDIOVASCULAIRE 5103**

COLLART Frédéric (PU-PH)  
 D'JOURNO Xavier (PU-PH)  
 DODDOLI Christophe (PU-PH)  
 FOUILLOUX Virginie (PU-PH)  
 GARIBOLDI Vlad (PU-PH)  
 MACE Loïc (PU-PH)  
 THOMAS Pascal (PU-PH)

LENOIR Marien (MCU-PH)  
 TROUSSE Delphine (MCU-PH)

**CHIRURGIE PLASTIQUE,****RECONSTRUCTRICE ET ESTHETIQUE ; BRÛLOGIE 5004**

BERTRAND Baptiste (PU-PH)  
 CASANOVA Dominique (PU-PH)

HAUTIER Aurélie (MCU-PH)  
 JALOUX Charlotte (MCU PH)

**CHIRURGIE VASCULAIRE ; MEDECINE VASCULAIRE 5104**

ALIMI Yves (PU-PH)  
 AMABILE Philippe (PU-PH)  
 BARTOLI Michel (PU-PH)  
 BOUFI Mourad (PU-PH)  
 MAGNAN Pierre-Edouard (PU-PH)  
 PIQUET Philippe (PU-PH)  
 SARLON-BARTOLI Gabrielle (PU PH)

GAUDRY Marine (MCU PH)

**GASTROENTEROLOGIE ; HEPATOLOGIE ; ADDICTOLOGIE 5201**

BARTHET Marc (PU-PH)  
 DAHAN-ALCARAZ Laetitia (PU-PH)  
 GEROLAMI-SANTANDREA René (PU-PH)  
 GONZALEZ Jean-Michel ( PU-PH)  
 GRANDVAL Philippe (PU-PH)  
 VITTON Véronique (PU-PH)

**HISTOLOGIE, EMBRYOLOGIE ET CYTOGENETIQUE 4202**

LEPIDI Hubert (PU-PH)

PAULMYER/LACROIX Odile (MCU-PH)

**GENETIQUE 4704****DERMATOLOGIE - VENEREOLOGIE 5003**

BERBIS Philippe (PU-PH)  
 DELAPORTE Emmanuel (PU-PH)  
 GAUDY/MARQUESTE Caroline (PU-PH)  
 GROB Jean-Jacques (PU-PH) *Retraite au 1/10/2022*  
 RICHARD/LALLEMAND Marie-Aleth (PU-PH)

MALISSEN Nausicaa (MCU-PH)

BEROUD Christophe (PU-PH)  
 KRAHN Martin (PU-PH)  
 LEVY Nicolas (PU-PH) *Disponibilité*  
 NGYUEN Karine (PU-PH)

ZATTARA/CANNONI Hélène (MCU-PH)

**GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE ; GYNECOLOGIE MEDICALE 5403**

AGOSTINI Aubert (PU-PH)  
 BRETTELLE Florence (PU-PH)  
 CARCOPINO-TUSOLI Xavier (PU-PH)  
 COURBIERE Blandine (PU-PH)  
 CRAVELLO Ludovic (PU-PH)  
 D'ERCOLE Claude (PU-PH)

**ENDOCRINOLOGIE ,DIABETE ET MALADIES METABOLIQUES ;  
GYNECOLOGIE MEDICALE 5404**

BRUE Thierry (PU-PH)  
 CASTINETTI Frédéric (PU-PH)

CUNY Thomas (MCU PH)

AUQUIER Pascal (PU-PH)  
 BERBIS Julie (PU-PH)  
 BOYER Laurent (PU-PH)  
 GENTILE Stéphanie (PU-PH)

LAGOUANELLE/SIMEONI Marie-Claude (MCU-PH)  
 RESSEGUIER Noémie (MCU-PH)

*MINVIELLE/DEVICTOR Bénédicte (MCF) Retraite au 1/10/2022*

### IMMUNOLOGIE 4703

KAPLANSKI Gilles (PU-PH)  
 MEGE Jean-Louis (PU-PH)  
 OLIVE Daniel (PU-PH)  
 VIVIER Eric (PU-PH)

FERON François (PR) (69ème section)

BOUCRAUT Joseph (MCU-PH)  
 CHRETIEN Anne-Sophie (MCU PH)  
 DEGEORGES/VITTE Joëlle (MCU-PH)  
 DESPLAT/JEGO Sophie (MCU-PH)  
 JARROT Pierre-André (MCU PH)  
 ROBERT Philippe (MCU-PH)  
 VELY Frédéric (MCU-PH)

BLAISE Didier (PU-PH)  
 COSTELLO Régis (PU-PH)  
 CHIARONI Jacques (PU-PH)  
 DEVILLIER Raynier (PU PH)  
 GILBERT/ALESSI Marie-Christine (PU-PH)  
 LOOSVELD Marie (PU-PH)  
 MORANGE Pierre-Emmanuel (PU-PH)  
 VEY Norbert (PU-PH)

GELSI/BOYER Véronique (MCU-PH)  
 IBRAHIM KOSTA Manal (MCU PH)  
 LAFAGE/POCHITALOFF-HUVALE Marina (MCU-PH)  
 SUCHON Pierre (MCU-PH)  
 VENTON (MCU-PH)

POGGI Marjorie (MCF) (64ème section)

### MEDECINE LEGALE ET DROIT DE LA SANTE 4603

BARTOLI Christophe (PU-PH)  
 LEONETTI Georges (PU-PH)  
 PELISSIER-ALICOT Anne-Laure (PU-PH)  
 PIERCECCHI-MARTI Marie-Dominique (PU-PH)

DELTEIL Clémence (MCU PH)  
 TUCHTAN-TORRENTS Lucile (MCU-PH)

BERLAND Caroline (MCF) (1ère section)

### MALADIES INFECTIEUSES ; MALADIES TROPICALES 4503

BROUQUI Philippe (PU-PH)  
 LAGIER Jean-Christophe (PU-PH)  
 MILLION Matthieu (PU-PH)  
 PAROLA Philippe (PU-PH)  
 STEIN Andréas (PU-PH)

ELDIN Carole (MCU-PH)

### MEDECINE D'URGENCE 4805

GERBEAUX Patrick (PU PH)  
*KERBAUL François (PU-PH) détachement*  
*MICHELET Pierre (PU-PH) Disponibilité*

### MEDECINE INTERNE ; GERIATRIE ET BIOLOGIE DU VIEILLISSEMENT ; ADDICTOLOGIE 5301

BONIN/GUILLAUME Sylvie (PU-PH)  
 DISDIER Patrick (PU-PH)  
 EBBO Mikael (PU-PH)  
 GRANEL/REY Brigitte (PU-PH)  
 ROSSI Pascal (PU-PH)  
 SCHLEINITZ Nicolas (PU-PH)

BENYAMINE Audrey (MCU-PH)

### MEDECINE PHYSIQUE ET DE READAPTATION 4905

BENSOUSSAN Laurent (PU-PH)  
 VITON Jean-Michel (PU-PH)

### MEDECINE ET SANTE AU TRAVAIL 4602

LEHUCHER/MICHEL Marie-Pascale (PU-PH)

SARI/MINODIER Irène (MCU-PH)

**MEDECINE GENERALE 5303**

GENTILE Gaëtan (PR Méd. Gén. Temps plein)

BARGIER Jacques (PR associé Méd. Gén. À mi-temps)  
JANCZEWSKI Aurélie (PR associé Méd. Gén. À mi-temps)CASANOVA Ludovic (MCF Méd. Gén. Temps plein)  
JEGO SABLIER Maëva (MCF Méd. Gén. Temps plein)BERNAL Alexis (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)  
FIERLING Thomas (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)  
FORTE Jenny (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)  
MITILIAN Eva (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)  
ROUSSEAU-DURAND Raphaëlle (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)  
THERY Didier (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps) (nomination au 1/10/2019)**NUTRITION 4404**BELIARD Sophie (PU-PH)  
DARMON Patrice (PU-PH)  
RACCAH Denis (PU-PH)  
VALERO René (PU-PH)*ATLAN Catherine (MCU-PH) disponibilité*

MARANINCHI Marie (MCF) (66ème section)

**ONCOLOGIE 65 (BIOLOGIE CELLULAIRE)**CHABANNON Christian (PR) (66ème section)  
SOBOL Hagay (PR) (65ème section)  
MEZOUAR Soraya (65ème section)**OPHTALMOLOGIE 5502**DAVID Thierry (PU-PH)  
DENIS Danièle (PU-PH) *Surnombre***OTO-RHINO-LARYNGOLOGIE 5501**DESSI Patrick (PU-PH)  
FAKHRY Nicolas (PU-PH)  
GIOVANNI Antoine (PU-PH)  
LAVIEILLE Jean-Pierre (PU-PH)  
MICHEL Justin (PU-PH)  
NICOLLAS Richard (PU-PH)  
RADULESCO Thomas (PU-PH)**NEPHROLOGIE 5203**BRUNET Philippe (PU-PH)  
BURTEY Stéphanne (PU-PH)  
DUSSOL Bertrand (PU-PH)  
JOURDE CHICHE Noémie (PU PH)  
MOAL Valérie (PU-PH)BOBOT Mickael (MCU-PH)  
ROBERT Thomas (MCU-PH)**NEUROCHIRURGIE 4902**DUFOUR Henry (PU-PH)  
FUENTES Stéphane (PU-PH)  
GRAILLON Thomas (PU PH)  
REGIS Jean (PU-PH)  
ROCHE Pierre-Hugues (PU-PH)  
SCAVARDA Didier (PU-PH)CARRON Romain (MCU PH)  
TROUDE Lucas (MCU-PH)**NEUROLOGIE 4901**ATTARIAN Sharham (PU PH)  
AUDOIN Bertrand (PU-PH)  
AZULAY Jean-Philippe (PU-PH)  
CECCALDI Mathieu (PU-PH)  
EUSEBIO Alexandre (PU-PH)  
FELICIAN Olivier (PU-PH)  
PELLETIER Jean (PU-PH)  
SUISSA Laurent (PU-PH)

MAAROUF Adil (MCU-PH)

**PEDOPSYCHIATRIE; ADDICTOLOGIE 4904**DA FONSECA David (PU-PH)  
POINSO François (PU-PH)

BOURVIS Nadège (PR associée)

GUIVARCH Jokthan (MCU-PH)

**PHARMACOLOGIE FONDAMENTALE -  
PHARMACOLOGIE CLINIQUE; ADDICTOLOGIE 4803**BLIN Olivier (PU-PH)  
MICALLEF/ROLL Joëlle (PU-PH)  
SIMON Nicolas (PU-PH)

BOULAMERY Audrey (MCU-PH)

**PARASITOLOGIE ET MYCOLOGIE 4502**

RANQUE Stéphane (PU-PH)

CASSAGNE Carole (MCU-PH)  
L'OLLIVIER Coralie (MCU-PH)  
TOGA Isabelle (MCU-PH)**PHILOSOPHIE 17**

LE COZ Pierre (PR) (17ème section)

MATHIEU Marion (MAST)

**PEDIATRIE 5401**ANDRE Nicolas (PU-PH)  
BARLOGIS Vincent (PU-PH)  
CHAMBOST Hervé (PU-PH)  
DUBUS Jean-Christophe (PU-PH)  
FABRE Alexandre (PU-PH)  
GIRAUD/CHABROL Brigitte (PU-PH)  
MICHEL Gérard (PU-PH)  
MILH Mathieu (PU-PH)  
OVAERT-REGGIO Caroline (PU-PH)  
REYNAUD Rachel (PU-PH)  
TOSELLO Barthélémy (PU-PH)  
TSIMARATOS Michel (PU-PH)COZE Carole (MCU-PH)  
MORAND-HUGGET Aurélie (MCU-PH)  
SAULTIER Paul (MCU-PH)**PHYSIOLOGIE 4402**BARTOLOMEI Fabrice (PU-PH)  
BREGEON Fabienne (PU-PH)  
GABORIT Bénédicte (PU-PH)  
MEYER/DUTOUR Anne (PU-PH)  
TREBUCHON/DA FONSECA Agnès (PU-PH)

BOUSSUGES Alain (PR associé à temps plein)

BONINI Francesca (MCU-PH)  
BOULLU/CIOCCA Sandrine (MCU-PH)  
*DADOUN Frédéric (MCU-PH) (disponibilité)*  
DELLIAUX Stéphane (MCU-PH)  
LAGARDE Stanislas (MCU-PH)  
LAMBERT Isabelle (MCU-PH)RUEL Jérôme (MCF) (69ème section)  
THIRION Sylvie (MCF) (66ème section)**PSYCHIATRIE D'ADULTES ; ADDICTOLOGIE 4903***BAILLY Daniel (PU-PH) Retraite au 2/11/2022*  
CERMOLACCE Michel (PU-PH)  
LANCON Christophe (PU-PH)  
NAUDIN Jean (PU-PH)  
RICHIERI Raphaëlle (PU-PH)**PNEUMOLOGIE; ADDICTOLOGIE 5101**ASTOUL Philippe (PU-PH)  
CHANEZ Pascal (PU-PH)  
GREILLIER Laurent (PU PH)  
REYNAUD/GAUBERT Martine (PU-PH)

TOMASINI Pascale (MCU-PH)

**PSYCHOLOGIE - PSYCHOLOGIE CLINIQUE, PSYCHOLOGIE SOCIALE 16**

AGHABABIAN Valérie (PR)

**RHUMATOLOGIE 5001****RADIOLOGIE ET IMAGERIE MEDICALE 4302**BARTOLI Jean-Michel (PU-PH)  
CHAGNAUD Christophe (PU-PH)  
CHAUMOITRE Kathia (PU-PH)  
GIRARD Nadine (PU-PH)  
JACQUIER Alexis (PU-PH)  
MOULIN Guy (PU-PH)  
PETIT Philippe (PU-PH)  
VAROQUAUX Arthur Damien (PU-PH)  
VIDAL Vincent (PU-PH)  
  
HABERT Paul (MCU PH)  
STELLMANN Jan-Patrick (MCU-PH)GUIS Sandrine (PU-PH)  
LAFFORGUE Pierre (PU-PH)  
PHAM Thao (PU-PH)  
ROUDIER Jean (PU-PH)**THERAPEUTIQUE; MEDECINE D'URGENCE; ADDICTOLOGIE 4804***AMBROSI Pierre (PU-PH) Surnombre*  
DAUMAS Aurélie (PU-PH)  
VILLANI Patrick (PU-PH)

**REANIMATION MEDICALE ; MEDECINE URGENCE 4802**

GAINNIER Marc (PU-PH)  
 HRAIECH Sami (PU-PH)  
 PAPAZIAN Laurent (PU-PH)  
 ROCH Antoine (PU-PH)

**UROLOGIE 5204**

BASTIDE Cyrille (PU-PH)  
 BOISSIER Romain (PU-PH)  
 KARSENTY Gilles (PU-PH)  
 LECHEVALLIER Eric (PU-PH)  
 ROSSI Dominique (PU-PH)

**SCIENCES DE LA REEDUCATION ET READAPTATION 91**

REVIS Joana (PAST)

AUTHIER Guillaume  
 BLANC Catheline  
 CAORS Béatrice  
 CHAULLET Karine  
 ERCOLANO Bruno  
 GRIFFON Patricia  
 GIRAUDIER Anaïs  
 GRIFFON Patricia  
 HENRY Joannie  
 HOUDANT Benjamin  
 MIRAPEIX Sébastien  
 MONTICOLO Chloé  
 MULLER Philippe  
 PAVE Julien  
 PETITJEAN Aurélie  
 ROSTAGNO Stéphan

LAZZAROTTO Sébastien (MAST)  
 TRINQUET Laure (MAST)

**MAÏEUTIQUE 90**

CLADY Emilie  
 FREMONDIERE Pierre  
 MATTEO Caroline  
 MONLEAU Sophie  
 MUSSARD-HASSLER Pascale  
 REPELLIN David  
 RIQUET Sébastien  
 ZAKARIAN Carole

**SCIENCES INFIRMIERES 92**

COLSON Sébastien (PR)  
 BOURRIQUEN Maryline (MAST)  
 LUCAS Guillaume (MAST)  
 MAYEN-RODRIGUES Sandrine (MAST)  
 MELLINAS Marie (MAST)  
 ROMAN Christophe (MAST)  
 VILLA Milène (MAST)

**ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE ET ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE 56-01**

CAMOIN Ariane (MCU-PH)  
 GAUBERT Jacques (MCU-PH)

BLANCHET Isabelle (MCF ASS)

**CHIRURGIE ORALE; PARODONTOLOGIE; BIOLOGIE ORALE 57-01**

MONNET-CORTI Virginie (PU-PH)  
 CAMPANA Fabrice (MCU-PH)  
 CATHERINE Jean-Hugues (MCU-PH)  
 ANTEZACK Angéline (MCU-PH)

**PREVENTION, EPIDEMIOLOGIE, ECONOMIE DE LA SANTE, ODONTOLOGIE LEGALE 56-02**

FOTI Bruno (PU-PH)  
 LE GALL Michel (PU-PH)

LAN Romain (MCU-PH)

**DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE, PROTHESES, FONCTION-DYSFONTION, IMAGERIE, BIOMATERIAUX 58-01**

TERRER Elodie (PU-PH)

ABOUDHARAM Gérard (MCU-PH)  
 GIRAUD Thomas (MCU-PH)  
 GIRAudeau Anne (MCU-PH)  
 GUIVARC'H Maud (MCU-PH)  
 JACQUOT Bruno (MCU-PH)  
 LABORDE Gilles (MCU-PH)  
 LAURENT Michel (MCU-PH)  
 MAILLE Gérald (MCU-PH)

MENSE Chloé (MCU-PH)  
 SILVESTRI Frédéric (MCU-PH)  
 BALLESTER Benoît (MCF ASS)  
 CASAZZA Estelle (MCF ASS)

# Remerciements

**A ma directrice de thèse, Madame le Docteur Charlotte JALOUX,**

Je te remercie d'avoir accepté de diriger ma thèse. Merci pour ta pédagogie et ton enseignement durant ces 2 semestres à tes côtés. Merci d'avoir su me faire découvrir et m'intéresser à la chirurgie de la main pédiatrique.

**Au président du jury, Monsieur le Professeur Franck LAUNAY,**

Merci à vous pour votre enseignement, d'avoir su me faire aller « plus vite, plus vite, plus vite... » et à dérouler une bande de plâtre convenablement. Je vous remercie pour vos précieux conseils dans l'orientation à donner à ma carrière avant même qu'elle ne commence. Voyez ici ma reconnaissance et mon respect.

**Monsieur le Professeur Régis LEGRE,**

Vous me faites l'honneur d'être présent au sein de ce jury. Je vous remercie de l'intérêt porté à ce travail. Merci pour votre enseignement durant ces staffs matinaux et les consultations à vos côtés. Veuillez trouver ici l'expression de mon profond respect.

**A Monsieur le Professeur Guillaume CAPTIER,**

Je vous remercie d'avoir toujours su être à l'écoute et disponible. Merci de m'avoir conseillé de choisir Marseille et permis de rencontrer ces équipes et ces personnes incroyables. Je me rappelle avec nostalgie vos cours d'anatomie à main levée et quelques années plus tard mon émerveillement lors de ma découverte de la chirurgie à vos côtés.

**A Monsieur le Docteur Stéphane GUERO,**

Merci de m'avoir apporté autant en si peu de temps, le temps d'un stage de DU à vos côtés. Je vous remercie pour votre accueil, votre pédagogie, votre gentillesse. Merci de faire vivre votre amour de la chirurgie pédiatrique et d'avoir participé à encren en moi cette passion.

**A tous mes maitres, le Pr Sébastien PESENTI, Dr Émilie PELTIER, le Dr Elie CHOUFANI, le Dr Jean-Marc GUILLAUME, le Dr Sébastien VIAUD, le Dr Pauline GASTALDI, le Dr Mathieu CERMOLACCE, le Dr Adrien ROY,**

Merci pour l'apprentissage que vous m'avez dispensé, pour le temps que vous m'avez consacré, je garde un souvenir et une pensée émue des moments passés à vos côtés.

**A Madame le Docteur Marie DE BOUTRAY,**

Tu es et resteras à jamais une des personnes ayant marqué ma vie à l'hôpital. Je te remercie pour tout : ta force morale inspirante, ta passion de la transmission et ton sourire bienveillant. Je n'oublierai jamais ta disponibilité et ton aide, professionnelle comme personnelle.

**A mes cointernes, mes amis,**

Merci pour le soutien dans les moments dur mais aussi pour votre présence dans les bons moments autour d'une bière ou pendant un staff. Merci « Juste » Leblanc, « l'équipe des Dogz », big up Nono. J'ai également une pensée pour Gauthier, Hadj, Jessica, Samuel, Emmanuelle, Eva, Martin, Loulou et toutes les copains croisés une blouse sur les épaules ou une bière à la main. Apprendre et grandir à vos coté est un honneur et un plaisir que je chérirai.

**A Maman, Papa,**

Je touche du doigt depuis un peu plus de 2 ans à quel point il est dur de remplir le rôle de parents, mais vous avez su le faire et le faites encore de façon exceptionnelle. Merci pour les valeurs que vous m'avez transmises, merci de m'avoir permis de grandir et de me construire chaque jour passé avec vous. Je réalise votre soutien dans les moments où je perdais pieds. Pour toutes ces raisons, je vous remercie infiniment.

Merci pour l'amour que vous vous portez chaque jour.

**A Thibault,**

Tu es celui pour qui je n'ai pas de mots, je ne pouvais imaginer ce jour sans ta présence à mes côtés. Chacune de mes victoires sont tiennes car elles ne seraient rien sans ta présence à mes coté pour les savourer.

Commandos pour toujours.

**A Sissy,**

J'espère que tu es fière de voir ton petit fils grandir, merci pour la force de la nature que tu es, pour ta bonne humeur permanente. Merci pour les stages de voile, le golf, les visites, le skate-park... La liste est trop longue, tu as tant fait pour nous.

Ce travail est dédié aux femmes de ma vie, vous êtes ma lueur dans la pénombre, Les étoiles rayonnantes de mes nuits, celles qui me montrent la voie quand je m'égare.

**A Julie,**

Merci d'accepter chaque jour mes défauts, mes erreurs, mes errements. Merci de supporter mes lubies, mes moments de folie. Je te remercie de ton soutien sans faille.

Mon cœur, mon corps et mon âme sont à toi pour toujours.

**A Ainhoa,**

Chacun de tes pas remplissent mon cœur de bonheur. Te voir grandir est la plus belle chose qu'il m'ait été donné par la vie. Je t'aime inconditionnellement et à tout jamais.



# Table des matières

<b>Remerciements</b>	
<b>Table des matières</b>	<b>1</b>
<b>I - Introduction</b>	<b>3</b>
<b>II - Embryologie</b>	<b>4</b>
<b>A - Embryologie descriptive</b>	<b>4</b>
<b>B - Gènes du groupe Hox</b>	<b>6</b>
<b>C - Polarisation du membre supérieur</b>	<b>7</b>
1 - Polarisation cranio-caudale	7
2 - Polarisation radio-ulnaire	8
3 - Polarisation dorso-palmaire	8
<b>III - Cytologie &amp; histologie osseuse</b>	<b>9</b>
<b>A - Cellules osseuses</b>	<b>9</b>
1 - Ostéoblastes	9
2 - Ostéocytes	9
3 - Ostéoclastes	10
4 - Cellules bordantes	10
<b>B - Matrice extra-cellulaire</b>	<b>11</b>
1 - Trame protéique	11
2 - Substance minérale	12
<b>C - Architecture du tissu osseux</b>	<b>12</b>
1 - Os cortical	13
2 - Os trabéculaire	13
3 - Endoste	13
4 - Périoste	13
<b>IV - Physiologie et croissance osseuse</b>	<b>14</b>
<b>A - Ossification primaire</b>	<b>14</b>
1 - Ossification endochondrale	14
2 - Ossification membranaire	15
<b>B - Remodelage osseux</b>	<b>16</b>
1 - Phase d'activation	16
2 - Phase de résorption	16
3 - Phase de réversion	17
4 - Phase de formation	17
5 - Phase quiescente	18
<b>V - Pathologies raccourcissantes de la main</b>	<b>18</b>
<b>A - Pathologies congénitales raccourcissantes</b>	<b>18</b>
1 - Défauts segmentaires de formation	19
2 - Troubles de la différenciation	19
3 - Duplications	20
4 - Hyperplasie, hypertrophie	20
5 - Hypoplasie, hypotrophie	20

6 - Maladie des brides amniotiques _____	22
7 - Anomalies squelettiques constitutionnelles _____	23
<b>B - Pathologies acquises raccourcissantes de la main _____</b>	<b>23</b>
1 - Pathologies traumatiques _____	23
2 - Pathologies infectieuses _____	24
3 - Pathologies tumorales _____	24
4 - Pathologies vasculaires _____	25
5 - Causes iatrogènes _____	25
<b>VI - Chirurgie d'allongement osseux _____</b>	<b>26</b>
<b>A - Indication chirurgicale _____</b>	<b>26</b>
<b>B - Bilan préopératoire _____</b>	<b>27</b>
<b>C - Complications liées à la distraction _____</b>	<b>28</b>
<b>D- Techniques chirurgicales de distraction _____</b>	<b>28</b>
1 - Distraction in situ (distraction/greffe en 1 temps) _____	28
a - Description _____	28
b - Matériel nécessaire _____	29
c - Description du protocole chirurgical _____	29
d - Avantages de la distraction in situ _____	30
e - Inconvénients de la distraction in situ _____	30
2 - Distraction osseuse par callotasis _____	31
a - Description _____	31
b - Matériel nécessaire _____	31
c - Description du protocole chirurgical _____	32
d - Avantages de l'allongement par callotasis _____	33
e - Inconvénients de la technique de callotasis _____	34
3 - Technique de distraction/Greffe en 2 temps _____	35
a - Description _____	35
b - Matériel nécessaire _____	35
c - Description du protocole chirurgical _____	35
d - Avantages de la distraction/greffe en 2 temps _____	36
e - Inconvénients de la distraction/greffe en 2 temps _____	37
4 - Distraction épiphysaire _____	37
a - Description _____	37
b - Matériel nécessaire _____	37
c - Description de la technique chirurgicale _____	38
d - Avantage de la distraction épiphysaire _____	38
e - Inconvénients de la distraction épiphysaire _____	39
<b>VII - Revue systématique de la littérature _____</b>	<b>39</b>
<b>A - Matériel et méthodologie _____</b>	<b>39</b>
<b>B - Résultats _____</b>	<b>41</b>
<b>C - Discussion _____</b>	<b>46</b>
<b>VIII - Conclusion _____</b>	<b>48</b>
<b>IX - Références _____</b>	<b>49</b>
<b>X - Figures _____</b>	<b>56</b>
<b>XI - Serment d'Hippocrate _____</b>	<b>59</b>

# I - Introduction

Étendard et pièce maitresse de l'évolution de l'espèce humaine grâce à l'acquisition du pouce opposable, la main est un organe primordial pour les interactions d'un individu avec son environnement : préhension, gestuelle, rôle social et esthétique. Cependant, nombre d'étiologies congénitales ou d'évènements traumatiques peuvent venir altérer une ou plusieurs fonctions de la main : qu'ils soient congénitaux ou acquis.

L'incidence des malformations congénitales du membre supérieur est estimée à 6,5 cas pour 10 000 naissances. Certaines étiologies sont à l'origine d'un raccourcissement d'un ou plusieurs segments osseux. Ce raccourcissement peut entraîner une diminution variable de la fonction ou être source de douleurs et de préjudice esthétique. Un allongement osseux peut alors être proposé de façon isolée ou couplé à d'autres techniques chirurgicales afin d'améliorer la fonction, amender les douleurs ou permettre une amélioration esthétique.

Les premières étiologies responsables de raccourcissement osseux nécessitant un processus d'allongement osseux dans une population pédiatrique sont les causes congénitales malformatives, syndromiques ou isolées, puis viennent les indications pour séquelles post-traumatiques et post-infectieuses.

Au cours de cette thèse d'exercice, nous commencerons par aborder les prérequis nécessaires à la compréhension des mécanismes engagés dans le développement du membre supérieur et les conséquences d'une altération de ce processus, sur le développement de la main.

Nous développerons ensuite le fonctionnement du tissu osseux, sa formation ainsi que les acteurs cellulaires nécessaires à son maintien et son développement.

Seront ensuite abordés, les grands groupes de pathologies congénitales du membre supérieur au travers de la présentation de la classification de Swanson avant de nous focaliser sur les indications d'allongement osseux en chirurgie de la main pédiatrique.

Nous décrirons ensuite les différentes techniques chirurgicales, les différents temps qui les composent, leurs avantages et inconvénients puis nous les comparerons au travers d'un état des lieux bibliographique des résultats en allongement osseux de la main pédiatrique.

## II - Embryologie

### A - Embryologie descriptive

La mise en place des structures du membre supérieur et de la main de l'embryon débute in utero durant le premier trimestre de grossesse. La croissance de la main se poursuit en parallèle de celle du membre supérieur et des autres structures anatomiques (**Figure 1**). Ce développement fait appel à de nombreux mécanismes de stimulation, inhibition et de contrôle, fortement conservés au cours de l'évolution.

A la 4<sup>ème</sup> semaine de grossesse se produit l'apparition du bourgeon du membre. Ce bourgeon est constitué d'une invagination mésoblastique recouvert d'ectoblaste. Le mésoblaste après différents phénomènes de colonisation, de migration cellulaire, de prolifération et de différenciation aboutira au tissu musculaire (par maturation d'un contingent mésenchymateux : le myotome), au tissu cartilagineux ainsi qu'au tissu osseux (par condensation du mésoderme, puis selon un mode d'ossification endochondrale, cf. ossification).

Au cours de la 5<sup>ème</sup> et de la 6<sup>ème</sup> semaine, le bourgeon de membre croît de façon centrifuge. Avec la progression du développement et de la croissance du bourgeon, 3 structures du membre s'individualisent progressivement : on y différencie le Stylopode devenant à terme la portion proximale du bras, le Zeugopode qui donnera l'avant-bras de l'Autopode : future main.

Au cours de la 6<sup>ème</sup> semaine, l'autopode possède une forme aplatie nommée « palette digitale ». Cette palette subit des modifications par des mécanismes d'apoptose programmée à compter du 38<sup>ème</sup> jour de grossesse. Ces mécanismes d'apoptose induisent l'apparition de structures, s'individualisant par creusement localisé de la palette : les 5 rayons digitaux, à l'origine des doigts

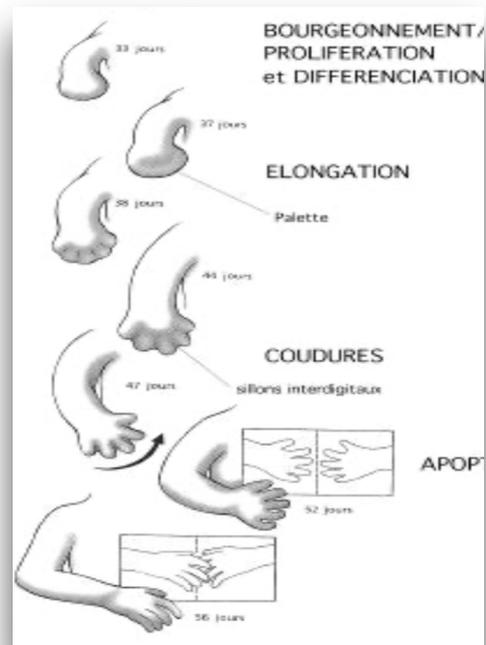


Figure 1 : Développement du membre supérieur

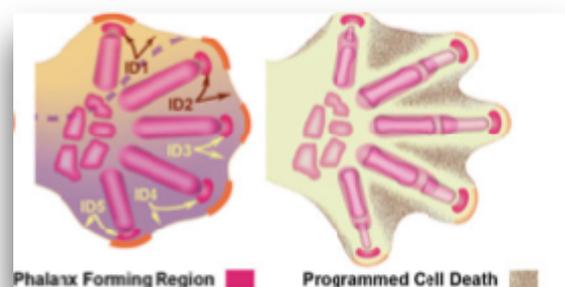


Figure 2 : Apoptose interdigitale de la palette digitale

(**Figure 2**). Les structures cutanées pulpaire se forment de façon plus tardive au cours de la 8ème semaine par l'apparition des coussinets tactiles.

Au cours de la 6ème semaine, en parallèle de l'individualisation des doigts et de la croissance du membre, se déroule la mise en place de l'ensemble de l'appareil ostéoarticulaire.

À la suite de sa condensation, le mésoblaste se différencie afin d'aboutir à la formation des articulations, avec l'apparition de chondroblastes évoluant en chondrocytes, remplaçant leurs précurseurs au sein des structures mésenchymateuses. La différenciation chondrocytaire induit une évolution de la matrice extra-cellulaire vers une matrice pré-cartilagineuse puis cartilagineuse hyaline.

Cette maturation de la matrice pré-cartilagineuse est réalisée par des phénomènes de migration cellulaire, d'apoptose et de différenciation cellulaire, formant des régions dépeuplées bordées de nombreuses lignées chondrocytaires appelées interzones. Progressivement ces interzones vont se segmenter, formant l'articulation, les zones condensées périphériques amenant aux épiphyses osseuses, au cartilage articulaire et à la synoviale (**Figure 3**).

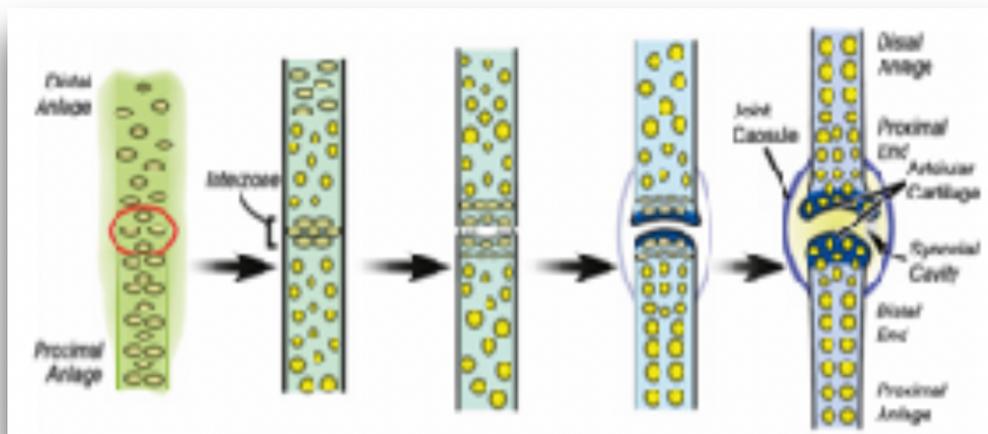


Figure 4 : apoptose interdigitale de la palette digitale

Cependant, la fin de la mise en place des structures à la bascule entre le 2ème et le 3ème trimestre ne signifie pas l'arrêt du développement de la main. En effet la croissance de la main et du membre supérieur se poursuit tout au long de l'enfance de l'individu pour se terminer à la fin de la croissance avec la fusion des cartilages de conjugaison.

## B - Gènes du groupe Hox

L'ébauche et le développement de l'ensemble de ces structures sont sous le contrôle de nombreux gènes et notamment d'un groupe de gènes architectes dictant l'identité cellulaire pour de nombreuses structures de l'organisme, à la base de l'identité morphologique : les complexes géniques Hox.

Hautement conservé au cours de l'évolution, ils sont présents chez l'ensemble des espèces animales possédant un plan de symétrie sagittal. Les groupes de gènes Hox sont d'une importance majeure. Appelés gènes homéotiques, Leur rôle est de conditionner l'aspect segmentaire morphologique spécifique au sein d'une même espèce.

Ils sont présents en nombre différents selon les espèces. Chez l'homme nous retrouvons 39 gènes du groupe Hox, regroupés en 4 complexes (Hox A, B, C, D de notés de 1 à 13), répartis sur les chromosomes 2, 7, 12 et 17 (Figure 4).

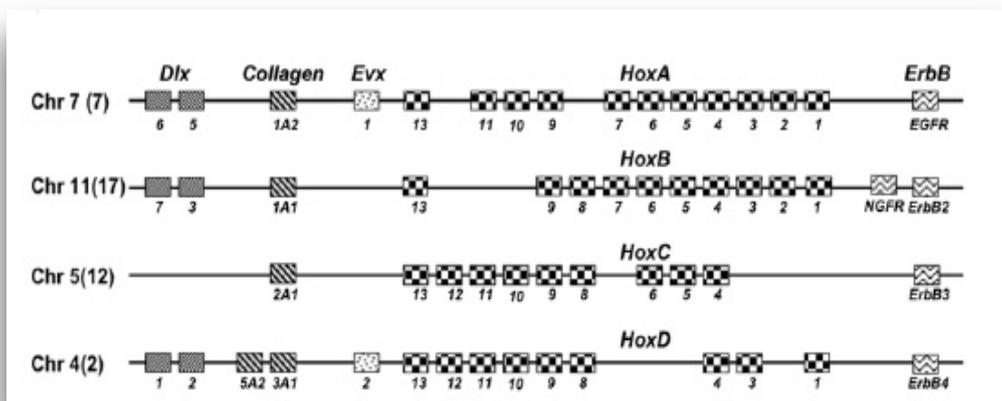


Figure 5 : Disposition des complexes Hox sur les chromosomes 2, 7, 12 et 17

Appliqué au développement du membre supérieur et de la main, les complexes Hox s'exprimant sont les complexes Hox A et D, des gènes 9 à 13. Leur transcription se fait de façon segmentaire et séquentielle : les gènes 9 à 13 possèdent une expression distale, contrôlant la mise en place des structures de la main tandis que les facteurs de transcription HoxA-9 et HoxD-9 organisent les structures squelettiques proximales du membre supérieur (1) (Figure 5).

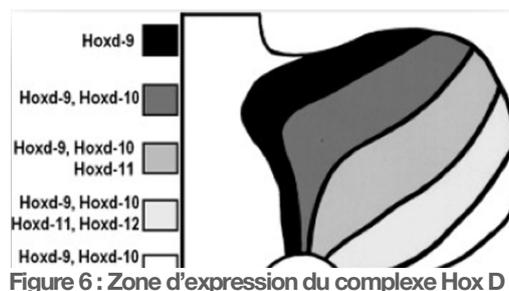


Figure 6 : Zone d'expression du complexe Hox D

## C - Polarisation du membre supérieur

Afin de permettre une croissance et un développement harmonieux sous contrôle des gènes vues précédemment, le membre supérieur se développe selon 3 axes de polarisation.

### 1 - Polarisation cranio-caudale

La croissance et la polarisation cranio-caudale se fait à partir d'un épaissement du revêtement ectoblastique de l'extrémité du membre supérieur : la crête ectoblastique (AER, Apical Ectodermal Ridge) (**Figure 6**). La formation de cette crête se fait lors de la formation du bourgeon du membre, grâce à une inclusion mésoblastique dans le feuillet ectoblastique, le 26ème jour de grossesse. Elle est le siège d'une prolifération cellulaire intense et assure la croissance en longueur du membre (2).

Cette croissance est guidée par un double gradient cranio-caudal spatial et temporel de FGFs (Facteurs de croissance fibroblastiques). Ces facteurs de croissance sont sécrétés par la crête ectoblastique et induisent un gradient de concentration décroissant de distal en proximal. Leur rôle est de stimuler de façon ciblée la prolifération et la différenciation des différentes lignées cellulaires à l'origine de l'ensemble des tissus du membre. Par exemple, l'initiation du bourgeon et la polarisation de la crête ectoblastique semblent contrôlées par le FGF8 tandis que l'allongement qui s'ensuit est régulé de façon positive par les facteurs FGF 4 et 8. Afin de contrôler le développement du bourgeon puis du membre, un équilibre se fait entre facteurs inducteurs et une contre-régulation inhibitrice réalisée par certains facteurs tels que BMP2 (pour Bone Morphogenic Protein) et BMP4, permettant une modulation fine de cette croissance (3).

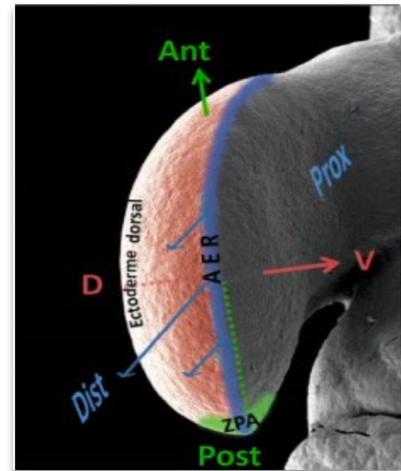


Figure 8 : Bourgeon de membre supérieur

## 2 - Polarisation radio-ulnaire

La polarisation et la croissance dans cet axe se fait sous contrôle de la zone d'action polarisante (ZPA). Il s'agit d'une structure mésoblastique située à la face postérieure du bourgeon du membre.

La Zone d'action polarisante induit un gradient radio-ulnaire par production d'une protéine : Sonic HedgeHog (SHH). Ce gradient décroissant ulno-radial est un des éléments responsables de la différenciation des aspects digitaux et de leur nombre. Une forte concentration orientant vers un doigt 5 tandis qu'une faible concentration induirait un doigt 1. La mise en place de gradient de SHH est permise grâce aux signaux du facteur de transcription Hand 2.

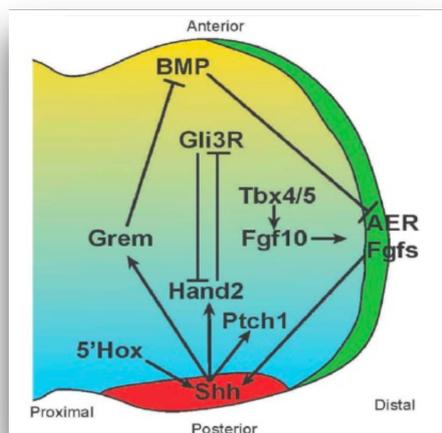


Figure 9 : Synthèse des principaux facteurs de signalisation

Le nombre de doigts est quant à lui régulé par un double gradient contraire radio-ulnaire issu du groupe de gène Gli3 : un premier gradient décroissant d'ulnaire en radial de Gli-A (pour Activator), stimule la formation digitale. Un second gradient, inhibiteur, de Gli-R (pour Repressor), limite la prolifération digitale. Ce gradient inhibiteur est décroissant de radial en ulnaire. Gli-R possède également un rôle de modulation du gradient de SHH par répression de l'expression du facteur de transcription Hand2 (Figure 7).

## 3 - Polarisation dorso-palmaire

La polarisation dorso-palmaire se fait sous contrôle de facteurs inducteurs et inhibiteurs d'origine ectodermique.

WNT7A est un facteur inducteur. Il est synthétisé au niveau du feuillet ectoblastique dorsal et il induit la différenciation vers un phénotype dorsal. Les structures palmaires sont quant à elles orientées grâce à la répression du facteur inducteur WNTA7 par un facteur de transcription inhibiteur EN-1.

Ces facteurs de transcription sont eux-mêmes modulés par les facteurs BMP, permettant l'optimisation de la polarisation dorso-ventrale.

# III - Cytologie & histologie osseuse

## A - Cellules osseuses

### 1 - Ostéoblastes

L'ostéoblaste a pour fonction de sécréter les composants de la matrice organique extracellulaire osseuse (collagène et autres protéines). Une fois la matrice extracellulaire constituée, les ostéoblastes peuvent évoluer vers l'apoptose, vers la transformation en ostéocyte ou en cellule bordante.

L'ostéoblaste est issu d'une lignée de cellules souches mésenchymateuses pluripotentes. Cette lignée est commune aux myocytes, adipocytes mais également aux fibroblastes et aux chondrocytes. La cytologie ostéoblastique est marquée par un réticulum endoplasmique rugueux développé ainsi que de nombreuses mitochondries, témoignant d'une synthèse protéique importante (4).

De forme généralement allongée, les ostéoblastes recouvrent la surface osseuse, sécrétant la trame protéique (**Figure 8**).

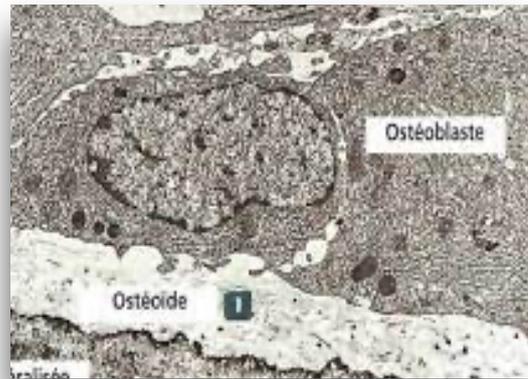


Figure 11 : Ostéoblaste en microscopie optique

### 2 - Ostéocytes

La population ostéocytaire provient de la transformation d'une partie de la population ostéoblastique, prise dans la matrice extracellulaire en cours de calcification. Ces ostéocytes se retrouvent dans une niche au sein de l'os : la lacune périostéocytaire.

Depuis leur lacune, les ostéocytes maintiennent des interconnexions cellulaires avec d'autres ostéocytes de proximités par de fins prolongements cytoplasmiques (**Figure 9**). Ces connexions se font également avec des cellules bordantes recouvrant la surface osseuse (Cf

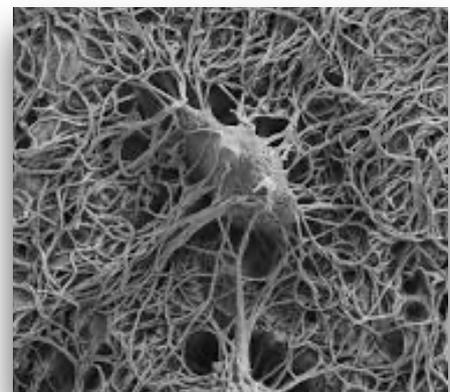


Figure 13 : Microscopie optique d'un ostéocyte

paragraphe cellules bordantes). Ces connexions permettent la transmission de signaux mécano-sensoriels intercellulaires (4).

A la différence des ostéoblastes, possédant un cytoplasme riche en organites afin de répondre à une activité intense de production de la matrice extra-cellulaire, les ostéocytes perdent au cours de leur transformation une grande quantité de leur matériel intra-cellulaire. Les ostéocytes gardent cependant un rôle de maintien de l'homéostasie de leur micro-environnement.

### 3 - Ostéoclastes

Les ostéoclastes représentent la population responsable de la résorption osseuse (**Figure 10**).

Il s'agit d'une cellule hématopoïétique multinucléée issue de la lignée macrophagique et monocytaire. Comme l'ensemble des cellules de cette lignée, elle possède une activité lysosomale riche, notamment via l'action de la phosphatase acide tartrate-résistante, de collagénases ou de cathepsine K.

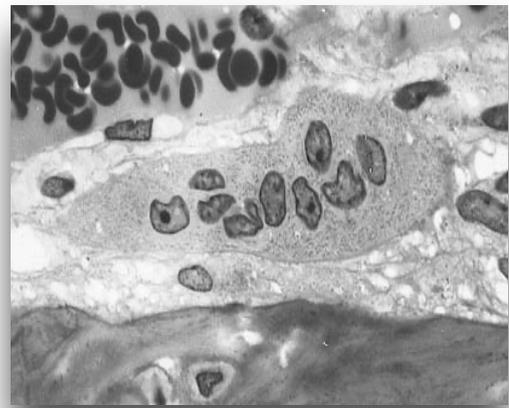


Figure 15 : Ostéoclaste en microscopie optique

Son action se fait par acidification de la matrice extra-cellulaire à partir d'une pompe à proton membranaire. La phase organique est ensuite résorbée grâce à l'activité lysosomale et enzymatique.

La dégradation de la matrice extra-cellulaire osseuse entraîne la création de lacunes osseuses dites de Howship ou sont retrouvés les ostéoclastes.

### 4 - Cellules bordantes

Les cellules bordantes (**Figure 11**, flèches noires) sont issues de la lignée ostéoblastique. L'ostéoblaste lors de sa phase de maturation peut évoluer vers le stade d'ostéophyte s'il est enclavé dans la matrice osseuse, il peut également rester en surface de l'os au contact du périoste et évoluer vers un stade quiescent : la cellule bordante.

Localisées en zone osseuse non-active (sans activité de résorption ou de formation osseuse), le rôle des cellules bordantes est multiple, elles inhibent l'action des ostéoclastes dans ces zones ou dans le cas de certains stimulus peuvent libérer la surface osseuse et laisser l'activité ostéoclastique se produire.

Les cellules bordantes possèdent des prolongements cytoplasmiques vers les ostéocytes enclavés permettant un contrôle accru de l'environnement osseux. Ces cellules sont sensibles aux facteurs de croissance leur permettant, en cas de stimuli une transformation vers le stade d'ostéoblaste.

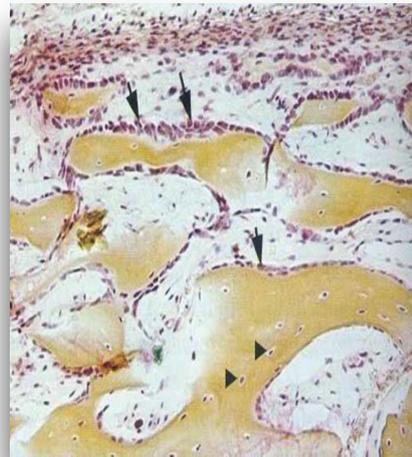


Figure 17 : tissu osseux trabéculaire en microscopie optique

## B - Matrice extra-cellulaire

Le tissu osseux est constitué de 2 phases : une trame protéique synthétisée par les ostéoblastes, sur laquelle se fixe une phase minérale. Cette dernière représente 70 % du poids sec de l'os.

### 1 - Trame protéique

La trame protéique est constituée pour environ 90% de collagène de type I. Ce collagène est une structure protéique polypeptidique, servant de support à l'ensemble des autres composants du tissu osseux.

Ces fibres de collagène sont organisées sous forme de fibrilles arrangées parallèlement au sein d'une même lamelle osseuse. Le changement d'orientation des fibrilles collagéniques permet d'augmenter la résistance de la structure. Ces superpositions sont appelées lamelles. Contrairement à l'orientation intra-lamellaire, l'orientation inter-lamellaire diffère, permettant leur individualisation. Cette apposition successive concentrique de lamelles confère sa structure à l'os cortical.

Sur cette trame protéique de collagène s'ajoutent d'autres molécules formant la substance fondamentale interfibrillaire. Cette substance est composée de phospholipides, de glycoprotéines (ostéonectine, ostéopontine...), de protéoglycanes, ainsi que de phosphoprotéines.

Le rôle de cette substance fondamentale interfibrillaire est de réguler les phénomènes de modelage ou remodelage osseux grâce à des facteurs de croissance tels que le TGFb (Transforming Growth Factor b), IGF, ostéoprotégérine, TNF (Tumor Necrosis Factor). Par exemple, les interleukines et les BMP présents dans la trame osseuse jouent un rôle dans l'attraction des ostéoclastes vers les foyers de résorption osseuse ou modulent la minéralisation.

## 2 - Substance minérale

La phase minérale osseuse est inorganique. C'est cette substance qui procure au tissu osseux ses propriétés physiques de rigidité et de résistance mécanique.

La substance minérale ne se contente pas d'un rôle mécanique. Le tissu osseux, à travers sa substance inorganique est également la première réserve minérale : près de 99% du calcium, 85% du phosphore et environ la moitié du magnésium et du sodium du corps humain sont stockés sous forme de cristaux d'hydroxyapatite dans le tissu osseux.

Hexagonaux et aplatis, le nombre et la taille des cristaux d'hydroxyapatite augmentent lors de la phase de minéralisation et prennent place progressivement dans la trame fibrillaire de collagène lors de la phase de minéralisation osseuse secondaire, suivant la phase de synthèse de la trame protéique par les ostéoblastes.

## C - Architecture du tissu osseux

La structure osseuse, évolue au cours de la vie de l'individu. Lors de la période in utero, le tissu osseux retrouvé est un tissu immature, marqué par la présence de nombreuses fibres de collagène d'orientation aléatoires. Ce tissu osseux est physiologique durant la période intra-utérine et l'enfance, il est progressivement remplacé par des structures osseuses lamellaires organisées, lors de la phase d'ossification secondaire.

Ce même enchaînement d'ossification primaire anarchique suivi d'une phase de réorganisation tissulaire est retrouvée au niveau du foyer de fracture lors de traumatismes osseux, avec la formation d'un cal osseux primaire, dont l'orientation des fibres de collagène est aléatoire, suivi d'une phase de remodelage, correspondant à l'ossification secondaire.

L'organisation du tissu osseux se fait selon quatre structures :

## 1 - Os cortical

C'est l'os portant, situé en périphérie de l'os. Il est formé par la juxtaposition d'unités osseuses : les ostéons. Il s'agit d'appositions de lamelles osseuses circonférentielles d'appositions concentriques. Ces lamelles sont disposées autour d'un canal appelé canal de Havers. Ce canal de Havers permet la vascularisation des ostéons. Les canaux de Havers sont reliés entre eux par des canaux transversaux dits de Volkmann (**Figure 12**). L'os compact joue un rôle principal dans les propriétés mécaniques du tissu osseux.

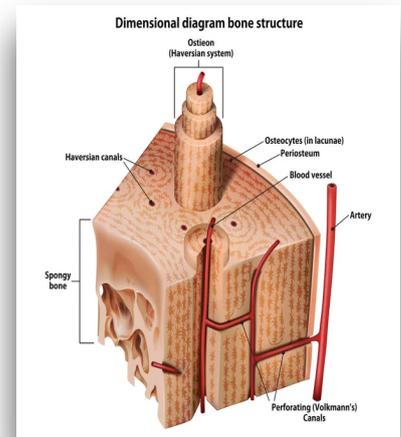


Figure 19 : Schéma d'os cortical

## 2 - Os trabéculaire

Appelé également os spongieux, il est constitué d'un réseau de travées osseuses présentes sous formes d'arches ou de plaques organisées dans les 3 plans de l'espace et occupant partiellement la cavité médullaire de l'os (**Figure 13**). L'espace délimité entre ces travées est comblé par le tissu hématopoïétique.

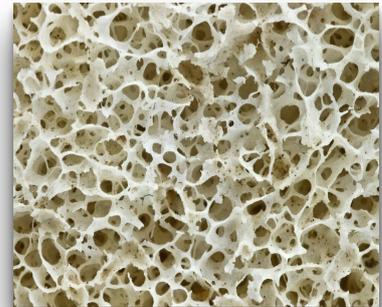


Figure 21 : Photographie d'os trabéculaire

## 3 - Endoste

L'endoste est une fine lame conjonctive tapissant les parois de la cavité médullaire des os longs. De fait elle recouvre l'os trabéculaire, le séparant du tissu hématopoïétique.

## 4 - Périoste

Il s'agit d'un tissu conjonctif recouvrant la face externe de l'os. Ses fonctions sont multiples. Le périoste possède un rôle nourricier, laissant cheminer en son sein les artères périostées, contribuant à vascularisation osseuse. Il participe également à l'ossification primaire grâce à une couche ostéoblastique à sa face profonde, permettant l'ossification endomembraneuse, avec pour conséquence une croissance osseuse en épaisseur. Le périoste possède également une fonction mécanique en permettant les insertions tendineuses et ligamentaires.

## IV - Physiologie et croissance osseuse

De la vie intra-utérine à l'âge adulte, l'organisme doit assurer la croissance du squelette et l'amener à maturité. Afin de permettre cette croissance et cette maturation osseuse, les processus de modelage et de remodelage se succèdent et coexistent sur l'ensemble du squelette.

A l'arrivée à l'âge adulte les cartilages de conjugaison se ferment et le modelage osseux ou ossification primaire s'arrête. Ne persistera que la phase de remodelage, jusqu'à la fin de la vie de l'individu.

Cette période de modelage osseux se fait selon 2 types d'ossification : une ossification dite endochondrale et une ossification membranaire. Ces mécanismes s'inscrivent dans un contexte d'augmentation de la masse osseuse, soutenant la croissance.

### A - Ossification primaire

#### 1 - Ossification endochondrale

Il s'agit du principal mode de formation et de croissance en longueur des os longs. Cette croissance se faisant à partir des cartilages de conjugaison situés en regard des épiphyses osseuses (**Figure 14**).

Les cartilages de conjugaison possèdent une organisation stratifiée transversalement, permettant une croissance harmonieuse et homogène du segment.

Dans cette organisation, nous retrouvons Les cellules germinales qui composent la première strate appelée zone de réserve. Il s'agit de précurseurs chondrocytaires répartis au niveau épiphysaire dont le rôle est de permettre la conservation d'un pool cellulaire de réserve nécessaire à la croissance du segment osseux. L'activité de prolifération dans cette zone est faible, la mitose permettant un remplacement des cellules évoluant vers la zone proliférative. Une fois la maturité squelettique atteinte cette strate cellulaire s'épuise progressivement marquant l'arrêt de la croissance en longueur de l'os.

La strate suivante correspond à la zone de prolifération. Celle-ci est organisée en colonnes longitudinales. Cette strate présente une activité mitotique intense entraînant une multiplication rapide des précurseurs cellulaires, évoluant progressivement vers

le stade de chondroblaste. Cette strate du fait de l'activité de prolifération possède un métabolisme élevé et nécessite une vascularisation importante.

Suivant la zone proliférative, la zone hypertrophique correspond à la perte de l'activité proliférative. Les chondrocytes qui entrent dans une phase de croissance hypertrophique voient leur volume cellulaire multiplié entre 5 et 10 fois. Cette hypertrophie correspond à la phase de préparation à la minéralisation de la matrice environnante par dépôt de calcium mitochondrial ainsi que par le stockage des enzymes telle que la phosphatase alcaline (rôle dans la formation d'ion phosphate, nécessaire à la précipitation phosphocalcique extra-cellulaire).

Dans la dernière strate, les chondrocytes entrent en apoptose, déversant leur contenu intra-cellulaire. Cette apoptose, associée à une invasion vasculaire va provoquer un afflux cellulaire, comprenant des chondroclastes dont le rôle est de résorber la matrice extra-cellulaire cartilagineuse minéralisée, ainsi que des précurseurs mésenchymateux de la lignée ostéoblastique, permettant la reconstruction d'une MEC osseuse mature et évoluant vers le stade d'ostéoblaste.

Le tissu osseux immature nouvellement formé est finalement résorbé par les ostéoclastes, avant d'être remplacé par un tissu osseux lamellaire mature.

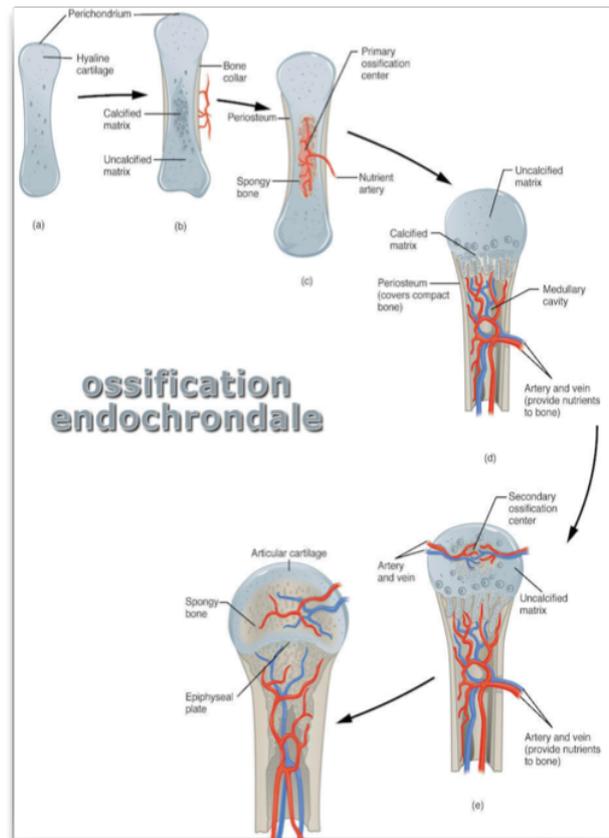


Figure 22 : Schéma de l'ossification endochondrale

## 2 - Ossification membranaire

Siégeant au niveau des os plats, cette ossification se fait par appositions osseuses successives en périphérie. Dans ce mode d'ossification, les précurseurs se différencient directement en ostéoblaste. L'os tissé est ensuite progressivement remplacé par de l'os lamellaire, mature. Ce mode d'ossification n'étant pas présent sur les structures de la main mais principalement sur les os plats, nous ne le développerons pas davantage.

## B - Remodelage osseux

Le tissu osseux se remodèle tout au long de la vie d'un individu. Le remodelage est permanent dans l'organisme et il dure entre 4 à 6 mois pour le tissu osseux d'un site donné. Il est estimé qu'en permanence, 5% de l'os cortical et 20% de l'os spongieux sont en cours de renouvellement.

Les phénomènes de remodelage permettent de préserver et d'adapter les caractéristiques biomécaniques de l'organisme aux contraintes de l'environnement mais également d'assurer l'équilibre et l'homéostasie minérale de l'organisme.

L'activité de remodelage osseux est à l'origine de l'existence des ostéons retrouvés dans l'os cortical. Ces ostéons peuvent se former grâce à une unité multicellulaire osseuse de base (basic multicellular unit, BMU). Cette unité correspondant à l'ensemble des acteurs cellulaires remodelant le tissu osseux en un même site à une période donnée.

La période de remodelage est composée de la succession de 5 phases et commence par la résorption osseuse avec l'activation des ostéoclastes, suivie par une phase de transition et d'une période de formation et de minéralisation osseuse de la nouvelle matrice néoformée.

Ce remodelage est décomposé en 5 phases.

### 1 - Phase d'activation

Le remodelage débute en surface de l'os, sur une zone initialement recouverte de cellules bordantes. Ces cellules, via des stimuli hormonaux, induisent la dégradation d'une fine couche matricielle non minéralisée à leur contact. Cette dégradation Permet l'exposition de la matrice osseuse calcifiée et donc son accès pour les ostéoclastes.

### 2 - Phase de résorption

Cette phase commence par un recrutement de la lignée ostéoclastique via ses précurseurs de la lignée myéloïde. Des signaux induisent la différenciation des précurseurs en ostéoclastes matures. Une fois la différenciation réalisée, les ostéoclastes viennent se fixer à la surface osseuse grâce notamment à la reconnaissance d'un signal présent sur certaines molécules de la matrice extra-cellulaire.

De nombreux facteurs interviennent dans la signalisation de la différenciation et de l'adhésion ostéoclastique au tissu osseux. Nombre de ces facteurs sont libérés lors de la dégradation matricielle de la phase d'activation puis lors de la résorption osseuse par les ostéoclastes.

Une fois l'adhésion de l'ostéoblaste réalisée, ce dernier acidifie son milieu environnant, permettant la dissolution de la matrice extra-cellulaire organique. La matrice calcifiée est ensuite résorbée par voie enzymatique. Cette résorption des matrices organiques et calcifiées entraîne la formation des lacunes de Howship. La phase de résorption s'étale sur environ 30 jours.

### 3 - Phase de réversion

La phase de réversion correspond à la phase transitionnelle entre la résorption osseuse et la formation.

Le couplage de ces 2 actions et leur synchronisation n'est pas encore parfaitement expliquée, cependant, une des hypothèses principales est que de nombreux facteurs régulant cette phase soient contenus dans la matrice extra cellulaire résorbée. La libération de ces facteurs de régulation lors de la résorption permettrait notamment d'initier la différenciation ostéoblastique et d'induire la formation d'une nouvelle matrice extra-cellulaire.

Les principaux facteurs en question seraient les fibroblast growth factor (FGF), les transforming growth factor-b (TGF b), les insulin-like growth factors (IGF), les bone morphogenic proteins (BMP).

### 4 – Phase de formation

Cette ultime phase commence par la prolifération de la lignée ostéoblastique, venant recouvrir la lacune de Howship. Ces précurseurs, différenciés en ostéoblastes synthétisent alors les constituants de la matrice organique. Il est admis que cette production de matrice extra-cellulaire protéique se fait au rythme de 2 à 3 micromètres par jour.

Vient ensuite, la période de minéralisation de la matrice, environ 1 à 2 semaines après sa synthèse. Cette dernière se fait par inclusion de cristaux d'hydroxyapatite dans les espaces interfibrillaires. Cette minéralisation se fait en 2 temps, avec un premier temps rapide (minéralisation primaire) suivi d'une 2ème phase plus lente appelée minéralisation secondaire. Cette phase secondaire est directement liée à la vitesse de remodelage. Par exemple : dans un tissu à fort taux de remodelage, la phase de minéralisation secondaire se fait plus rapidement qu'en cas de remodelage lent.

Prise dans sa totalité, cette phase est la plus lente, avec une ostéoformation complète (de la synthèse de la matrice organique jusqu'à sa minéralisation totale) qui s'étale sur 4 à 6 mois.

## 5 - Phase quiescente

Une fois la phase de formation achevée, les ostéoblastes laissent place aux cellules bordantes. C'est un retour à la phase initiale avec la surface osseuse recouverte de cellules bordantes quiescentes.

# V – Pathologies raccourcissantes de la main

## A – Pathologies congénitales raccourcissantes

Comme nous avons pu le voir, les pathologies congénitales de la main ont de multiples étiologies et s'expriment à différents degrés selon leur étendue, la précocité de survenue dans le développement ou le type de tissus atteints (5).

Afin de permettre une meilleure compréhension et prise en charge, Swanson, Barsky et Etin ont développé une classification des malformations congénitales de la main et l'ont proposé en 1989. Elle classe les phénotypes radiographiquement et morphologiquement selon le siège, le type de malformation, ou encore le caractère localisé ou systémique. Celle-ci comprend 7 catégories de malformations (6).

Première classification décrite, la classification de Swanson a depuis été complétée par d'autres classifications plus récentes telles que la classification de la Japanese Society for Surgery of the Hand (JSSH) présentée en 2000 et classant les malformations congénitales de la main selon 9 catégories morphogéniques (7) et l'OMT décrite en 2015 par Oberg, Manske et Tonkin (8), regroupant les pathologies en 4 grandes catégories : les malformations, les déformations, les dysplasies et les formes syndromiques.

Par soucis de simplicité nous développerons les pathologies congénitales entraînant des raccourcissements de la main de l'enfant en utilisant la classification de Swanson comme plan. Les autres catégories seront citées à titre informatif.

## 1 - Défauts segmentaires de formation

Cette catégorie est liée à un arrêt de développement du membre, pouvant être transversal (**Figure 15**) avec une absence de formation distale comme dans les anomalies de la crête ectoblastique, ou longitudinale (ulnaire, radial, intersegmentaire).

Dans cette catégorie sont retrouvées l'ensemble des mains bote radiales (classées selon de Bayne et Klug) et ulnaires (2). Ces pathologies s'étendent de l'absence de houppe phalangienne à l'agénésie totale du membre supérieur.

Certains de ces défauts longitudinaux de formation sont accessibles à un allongement osseux, comme dans le cas d'agénésies partielles d'un ou plusieurs segments osseux, principalement ceux permettant la réalisation d'une pince entre le pouce et un autre doigt long, dans le cadre d'indications fonctionnelles (9).



Figure 24 : Agénésie digitale multiple

## 2 - Troubles de la différenciation

Ces malformations peuvent intéresser les parties molles ou le squelette, séparément ou de façon conjointe. Ce groupe correspond au défaut de différenciation tissulaire.

On retrouve dans cette catégorie l'arthrogrypose, les syndactylies (simples ou complexes) (**Figure 16**), les camptodactylies, les synostoses.

Certaines de ces pathologies sont accessibles à une distraction osseuse comme les symbrachydactylies complexes avec fusions osseuses, entraînant des raccourcissements post-séparation. L'objectif de la distraction est alors de rétablir une harmonie entre les différents segments osseux (10). Les synostoses « Ya » de la classification de Foucher, une fois la séparation osseuse réalisée, entraîne un raccourcissement d'un des métacarpiens libérés nécessitant un protocole d'allongement (11)(12).



Figure 26 : Polysyndactylie

### 3 - Duplications

Les duplications correspondent à une anomalie du nombre de rayon par excès. Il s'agit principalement des polydactylies, réparties en 3 localisations: les polydactylies préaxiales (du pouce ou duplication du pouce), les polydactylies centrales: correspondant à une duplication au dépend du 2ème, 3ème ou 4ème rayon (les plus rares) et les polydactylies post-axiales: concernant le 5ème rayon (13).

Les duplications comportent également des anomalies plus complexes de la main telles que les mains en miroir ou dimélie ulnaire, les fentes de la main (ulnaire, médiane ou radiale) (14). Ces pathologies complexe associent à la distraction osseuse, différents temps chirurgicaux de reconstruction des tissus mous (15).

### 4 - Hyperplasie, hypertrophie

Cette section regroupe l'expression clinique des pathologies entraînant une augmentation du volume digital ou de la main de façon congénitale ou acquise.

Cette catégorie est composée principalement des macrodactylies vraies (lipofibromatose), les pseudomacrodactylies, liées à une pathologie entraînant une augmentation du volume du doigt (ex : tumeur vasculaire).

### 5 - Hypoplasie, hypotrophie

Sont classées dans cette catégorie l'ensemble des lésions entraînant une diminution de la croissance (hypotrophie) ou du développement (hypoplasie) du membre supérieur et de la main, qu'elles soient isolées ou syndromiques, fixées ou évolutives. A l'échelle du membre supérieur, le syndrome de Poland (16) est le parfait exemple d'atteinte syndromique. Le syndrome de Poland se caractérise par une agénésie totale ou partielle des faisceaux sterno-costaux du muscle grand pectoral et peut être associé à d'autres anomalies. Selon la combinaison de ces anomalies, on distingue trois formes de syndrome de Poland (17) (**Figure 17**) :

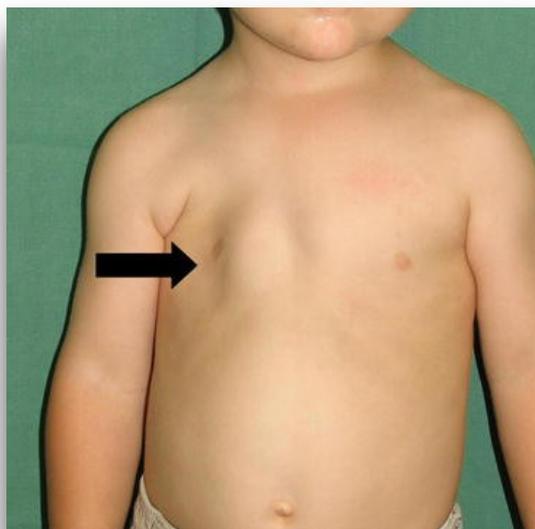


Figure 27 : Syndrome de Poland

- Type 1 (forme la plus bénigne) : anomalie isolée du muscle pectoral.
- Type 2 (forme partielle) définie par une anomalie du muscle pectoral associée à une anomalie du membre supérieur (2a, variante membre supérieur) ou des côtes (2b, variante thoracique).
- Type 3 (forme complète) définie par une anomalie du muscle pectoral associée à une anomalie du membre supérieur et des côtes. D'autres muscles tels que le dentelé antérieur, le grand dorsal et le trapèze peuvent également être atteints.

Des anomalies de l'avant-bras touchent 56 % des patients : brachydactylie, syndactylie ou une combinaison des deux. Une aplasie ou une hypoplasie des phalanges moyennes est fréquemment retrouvée, de façon uni ou polydigitale.

Nous retrouvons également classées dans la catégorie des hypoplasies et hypotrophies, des lésions syndromiques ou isolées entraînant un raccourcissement d'un ou plusieurs segments de rayons digitaux. La conséquence est un raccourcissement digital appelé : brachydactylie. Ces brachydactylies peuvent être congénitales isolées ou syndromiques ou être acquises. Selon le niveau du raccourcissement, on parle de brachyphalangie (**Figure 18**) ou de brachymétacarpie (**Figure 19**).

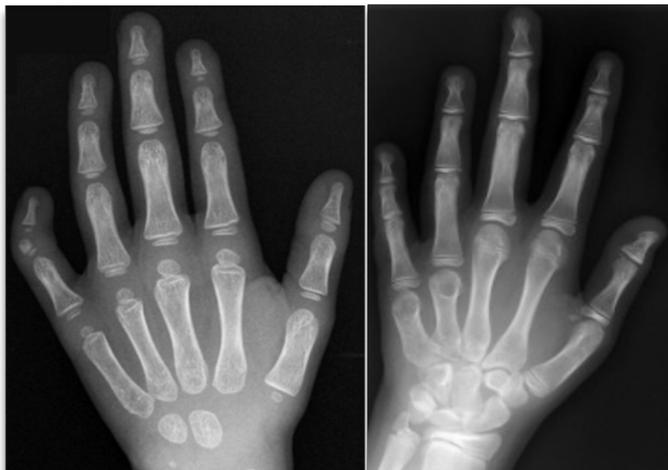


Figure 18 : Brachymesophalangie 5ème rayon

Figure 19 : brachymétacarpie des 4 et 5ème rayons

Une classification des différents types de brachydactylies congénitales a été réalisée par Temtamy (18). Elle se base sur des caractères phénotypiques orientant la classification, objectivée par une radiographie de la main atteinte selon des incidences orthogonales (**Figure 20**).

Rentrent également dans cette catégorie des hypoplasies ou hypotrophies, nous retrouvons l'ensemble des hypoplasies du pouce. Le pouce, par ses particularités fonctionnelles et anatomiques ne doit pas être pris en charge comme un doigt long. C'est pourquoi les malformations congénitales raccourcissantes (hypoplasies) du pouce sont triées selon une classification propre, proposée par le Dr Blauth (19). Cette classification classe les hypoplasies du pouce en 6 stades selon des critères clinico-radiographiques (**Figure 21**).

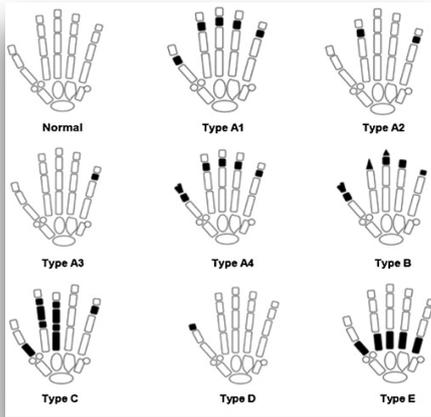


Figure 34 : Classification de Temtamy

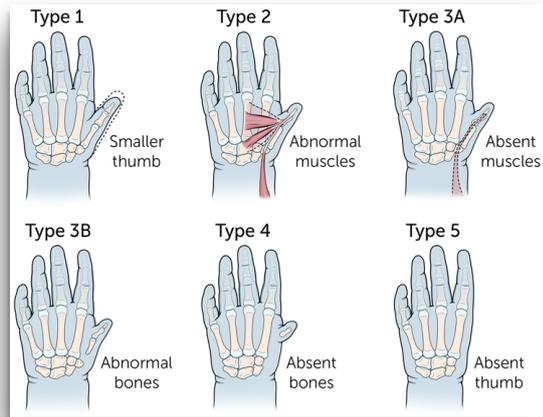


Figure 33 : Classification de Blauth

C'est dans cette catégorie que sont retrouvées la majorité des indications d'allongement osseux de la main. Ils peuvent être réalisés pour des raisons fonctionnelles, comme dans un allongement du 1<sup>er</sup> métacarpien natif (20) ou du métacarpien pollicisé (hypoplasie du pouce stade IIIb ou IV de Blauth) (21). Un protocole de distraction peut également être réalisé dans les cas de brachyphalanges congénitales isolées ou syndromiques comme elles peuvent être retrouvées dans le syndrome de Poland (22).

Dans le cas de pathologies congénitales moins complexes, des protocoles de distraction peuvent être réalisés à visée esthétique. C'est le cas des brachymétacarpies isolées (23).

## 6 - Maladie des brides amniotiques

La maladie des brides amniotiques est un ensemble de malformations congénitales, intéressant principalement les membres. Ces malformations ont pour caractéristiques d'être asymétriques et de ne respecter aucune systématisation embryologique ou anatomique (Figure 22). Ces pathologies sont liées à des phénomènes de strictions in utéro encore mal compris (24).

Le pronostic des lésions dépend principalement de leur siège et de leur sévérité. Elles vont du sillon de striction cutané sans retentissement fonctionnel à l'amputation. Au niveau de la main ces lésions peuvent également entraîner des acrosyndactylies.



Figure 37 : Séquelles de brides amniotiques

Selon la gravité et l'étendue des lésions, des protocoles de distraction peuvent être envisagés, dans un but de rétablissement fonctionnel (pouce pince index, grip des doigts longs) ou à titre esthétique (25).

## 7 – Anomalies squelettiques constitutionnelles

Cette catégorie regroupe toutes les anomalies génétiques ou systémiques touchant le squelette, avec des raccourcissements sur la main. On peut notamment citer l'achondroplasie, maladie génétique liée à une mutation du gène FGFR3. Cette pathologie entraîne une petite taille constitutionnelle et un raccourcissement de l'ensemble des os longs (26). Nous retrouvons dans cette catégorie l'hypoparathyroïdie (27).

Ces pathologies raccourcissantes congénitales, sont éligibles à des protocoles de distraction, selon les demandes fonctionnelles ou esthétiques des patients.

## B – Pathologies acquises raccourcissantes de la main

### 1 – Pathologies traumatiques

Bien que plus fréquents dans les populations adultes, les traumatismes peuvent être pourvoyeurs de raccourcissement osseux dans une population pédiatrique.

Ces raccourcissements peuvent être liés à une perte de substance osseuse lors d'un traumatisme à foyer ouvert, à un fracas osseux avec comminution ou, particularité pédiatrique, à une lésion des cartilages de croissance pouvant aboutir à une épiphysiodèse post-traumatique.

Ces lésions des cartilages de croissance sont regroupées par la classification de Salter & Harris (Figure 23) (28), elle décrit en 5 groupes les traumatismes osseux passant par le cartilage de conjugaison. Ces traumatismes sont classés du moins au plus pourvoyeur d'épiphysiodèse post-traumatique. Ces épiphysiodèses peuvent être partielles, entraînant progressivement une angulation du segment osseux, ou totale, stoppant la croissance du cartilage lésé avec apparition progressive d'un raccourcissement (29).

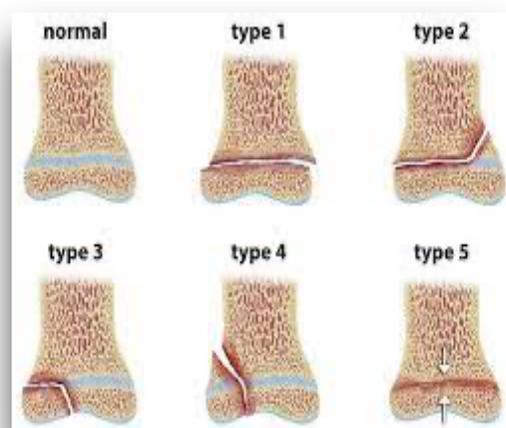


Figure 23 : Classification des fractures épiphysaires selon Salter & Harris

## 2 - Pathologies infectieuses

La survenue d'infection osseuse chez l'enfant représente une étiologie pourvoyeuse de raccourcissements osseux directs ou indirects. Bien que d'évolution favorable dans la grande majorité des cas, elles peuvent dans les retards de diagnostic ou les infections chroniques provoquer des complications ostéoarticulaires (30).

Dans le cas d'une ostéomyélite, l'évolution infectieuse locale peut se faire vers la nécrose osseuse corticale ou séquestre osseux. Ces séquestres osseux difficilement stérilisables par antibiothérapie nécessitent souvent une prise en charge chirurgicale d'exérèse, pouvant entraîner une perte de longueur du segment atteint selon l'étendue des lésions (31).

Un autre type d'atteinte infectieuse pouvant entraîner un raccourcissement osseux est l'atteinte du cartilage de conjugaison au cours d'une ostéomyélite ou d'une arthrite septique évoluée. Cette infection du cartilage de conjugaison peut se déclarer par inoculation directe ou lors d'une dissémination bactérienne par voie hématogène au cours d'une infection systémique. La bactérie pathogène incriminée, peut, une fois l'infection installée au sein du cartilage de conjugaison, entraîner des lésions aboutissant à terme une épiphysiodèse partielle provoquant un trouble d'angulation de l'os atteint ou totale, entraînant un raccourcissement du rayon par arrêt de croissance (32).

Les germes principalement retrouvés chez l'enfant sont : *Kingella Kingae* avant 5 ans, *Staphylococcus Aureus* chez les enfants plus âgés (33).

## 3 - Pathologies tumorales

Bénignes ou malignes, les lésions osseuses peuvent être responsables de raccourcissements ou d'inégalité osseuses.

Dans le cas de lésions malignes osseuses ou ayant envahi le tissu osseux, ces dernières peuvent entraîner un raccourcissement du segment atteint. Ce raccourcissement peut être causé par la destruction du cartilage de conjugaison envahi, ou par une résection chirurgicale. Ce raccourcissement est souvent pris en charge par une reconstruction, immédiate ou différée, cependant à distance, en cas d'emport de cartilages de conjugaison, un défaut de croissance peut entraîner un arrêt de la croissance nécessitant une distraction (34).

Certaines lésions bénignes (35) telles que les enchondromes, les tumeurs à cellules géantes, les kystes osseux (essentiels ou anévrismaux), les dysplasies fibreuses peuvent entraîner un ralentissement ou un arrêt de la croissance, partielle ou totale d'un cartilage de croissance par envahissement de ce dernier (36). Il est alors possible

d'associer à un geste curatif de de la lésion, des gestes complémentaires d'allongement en cas de raccourcissement associé.

#### 4 – Pathologies vasculaires

La croissance osseuse, comme tout tissu, nécessite un apport métabolique suffisant à son bon déroulement. Du fait d'un métabolisme important, les cartilages de croissance, lieu du développement osseux en longueur, sont des zones richement vascularisées (37).

Lors d'atteintes vasculaires congénitale ou acquises, un bas débit voir un arrêt complet du flux sanguin peut provoquer une ischémie, provoquant des nécroses osseuses, cartilagineuses, ou la fermeture prématurée des cartilages de croissance. Ces lésions peuvent être de retentissement variable selon la précocité de survenue ou l'amplitude du lit vasculaire atteint avec des raccourcissements plus ou moins marqués (38).

On retrouve par dans ces pathologies, l'ensemble des malformations vasculaires (39), les thromboses vasculaires, les sténoses artérielles ou encore les ischémies prolongées sur lésion vasculaire.

#### 5 – Causes iatrogènes

Ces causes peuvent être médicamenteuses comme dans de rares cas d'effets secondaires de traitements par rétinoïdes (40), ou lors de la prescription de thalidomide dans les années 1960 comme anti-nauséeux chez les femmes enceintes. Ce traitement, hautement tératogène fut pourvoyeur de nombreuses malformations de membre (41).

Le raccourcissement peut également être lié à une exposition aux radiations lors de cures de radiothérapie (42), ou chirurgicales. Lors de chirurgie carcinologiques, la résection osseuse emporte une section d'os et, selon la localisation, le cartilage de conjugaison. Ce raccourcissement est souvent pris en charge par une reconstruction immédiate ou différée, cependant à distance, en cas d'emport de cartilages de conjugaison, un défaut de croissance peut entraîner un arrêt de la croissance nécessitant une distraction. Les lésions chirurgicales peuvent également survenir lors de stérilisation chirurgicale du cartilage de conjugaison (43).

## VI - Chirurgie d'allongement osseux

L'objectif de ce chapitre est de décrire les différentes techniques de distraction osseuses, leurs indications ainsi que les avantages et inconvénients attendus pour chacune d'entre elles.

A ce jour, 4 techniques chirurgicales sont présentées dans la littérature. Ces techniques, bien que semblant proches dans la réalisation, reposent sur des principes différents, avec des modalités de réalisation singulières. Il s'agit de la distraction in situ ou distraction avec greffe osseuse en 1 temps, la distraction de cal ou callotasis, la distraction avec greffe osseuse en 2 temps et la distraction épiphysaire.

### A - Indication chirurgicale

Les chirurgies de distraction osseuse peuvent être réalisées presque à tout âge, la seule contrainte théorique étant un niveau d'ossification satisfaisant du segment osseux atteint et une longueur minimale afin de permettre la mise en place du matériel (44). Cette contrainte s'explique par la nécessité de donner une prise osseuse solide au matériel chirurgical le temps du protocole d'allongement.

Les indications d'allongement peuvent être fonctionnelles. Dans ces indications, ils sont pratiqués afin d'harmoniser l'opposition dans la pince pouce/index, améliorer le pinch (force préhensile pouce/index) ou d'améliorer le grip des doigts longs, ou, lors d'une diminution des mobilités, afin de rétablir la fonction préexistante. Ils peuvent également être réalisés à l'apparition de douleurs sur le rayon raccourci afin de les diminuer.

Dans les cas de brachydactylies consultant pour une demande esthétique ou fonctionnelle mineure, il peut être justifié de temporiser la prise en charge chirurgicale et de réaliser la procédure au moment de la fermeture des cartilages de conjugaison afin de potentialiser la croissance osseuse native.

Les allongements osseux dans la chirurgie de la main peuvent par exemple être utilisés dans un cas d'allongement du 1er métacarpien à la suite d'un transfert d'orteil pour amputation traumatique ou pour hypoplasie du pouce stade II ou IIIa de la classification de Blauth, dans une brachysyndactylie après le temps de séparation, dans un contexte de brachymétacarpie congénitale avec majoration progressive de douleurs liées à un différentiel de taille augmentant avec les structures adjacentes ou pour un déficit esthétique. La distraction osseuse peut également s'envisager dans les cas d'épiphysiodèse iatrogènes ou post-traumatique, pour redonner de la longueur dans les fractures avec perte de substance osseuse.

## B - Bilan préopératoire

Avant la réalisation de l'intervention, une planification du protocole chirurgical d'allongement est nécessaire et doit être réalisée. Afin de réaliser ce protocole, l'opérateur doit s'appuyer sur le bilan clinique et radiographique.

Le bilan radiographique préopératoire comprend à minima des clichés de face, profil et 3/4 de la main atteinte si un allongement métacarpien est envisagé. Dans le cas d'un allongement de phalange, seront demandés des clichés de face et profil du doigt intéressé (45).

Il est intéressant de réaliser des clichés bilatéraux, à titre comparatif. Le but de ces clichés comparatifs est de mesurer les dimensions du segment controlatéral sain, ces dimensions servant de référence à l'allongement du segment atteint, à la mise en place du protocole et de l'objectif de distraction. Dans le cas d'une atteinte bilatérale il faudra planifier l'allongement en s'appuyant sur des données anatomiques génériques de la littérature adaptées au patient (46).

A partir de cet objectif d'allongement est calculé le pourcentage d'allongement. Ce dernier correspond à la taille du segment atteint, divisé par la taille cible, multiplié par 100. Il peut être intéressant dans les allongements importants de réaliser la distraction en 2 protocoles afin de soulager le patient du port du fixateur externe et répartir les tensions sur les tissus mous (47).

Les clichés radiographiques préopératoires doivent permettre une évaluation des cartilages de conjugaison. Cette évaluation permet de programmer l'âge de l'intervention et d'anticiper le potentiel de croissance osseuse résiduelle du segment distracté (48).

L'examen clinique s'attachera à rechercher et évaluer les facteurs pouvant entraîner des complications ou des facteurs risquant de mettre en échec le protocole (49). L'état cutané doit être évalué ainsi que la vascularisation du rayon intéressé. Les amplitudes articulaires passives et actives sont mesurées à minima sur les articulations sus et sous-jacentes au segment osseux distracté, ainsi que la force motrice. Les laxités et instabilités articulaires doivent également être explorées.

L'opérateur mesurera également les forces préhensiles telles que le pinch test en cas d'atteinte du premier ou du 2ème rayon ainsi que le grip test en cas d'atteinte des doigts longs.

Le but de cet examen clinique et paraclinique est comme dit précédemment de programmer la longueur d'allongement cible, mais également d'anticiper le risque de complications. Cette évaluation a également pour but d'évaluer l'intérêt de gestes associés à l'allongement osseux.

## C – Complications liées à la distraction

Comme tout traitement chirurgical, les techniques de distraction présentent des bénéfices et inconvénients. Certaines des complications sont générales à toute intervention chirurgicale (risque hémorragique, risques anesthésiques, risques infectieux, rançon cicatricielle...) (50) mais peuvent être inhérentes au principe de distraction. D'autres complications peuvent être plus spécifiques à certaines techniques.

Les complications liées à la distraction peuvent être liées à la présence de matériel d'ostéosynthèse externe ou interne majorant le risque infectieux, un mésusage du matériel, un défaut de consolidation du cal osseux distracté ou de consolidation du greffon (51). Dans certains cas d'allongement importants (>40%) il a été rapporté un risque de dislocation articulaire (23).

Une autre complication liée à l'allongement osseux est la lésion des fibres musculaires des unités motrices liées au rayon distracté. Décrite par Ilizarov en 1989 (52), cette distension musculaire peut entraîner des lésions myofibrillaires avec l'apparition de tissus fibreux diminuant la réaction musculaire et augmentant les résistances des groupes musculaires à la mobilisation lors de distraction dépassant 1mm par jour (53).

Un des risques liés à l'allongement est celui d'apparition de trouble de rotation (54). Ce trouble survient à la suite de la réalisation de l'ostéotomie. Lors de la réalisation de l'ostéosynthèse, quelle que soit sa modalité, en cas de rotation du fragment distal par rapport au fragment proximal, le plan de flexion/extension du rayon se retrouve perturbé, provoquant une gêne fonctionnelle.

## D- Techniques chirurgicales de distraction

### 1 - Distraction in situ (distraction/greffe en 1 temps)

#### **a - Description**

La distraction in situ fait appel à peu de matériel et nécessite 2 temps chirurgicaux. Elle consiste en une ostéotomie diaphysaire avec traction peropératoire et réalisation d'une greffe osseuse pour comblement.

Les capacités d'allongement sont relativement modérées avec cette technique, très souvent inférieure à 10mm dans une population pédiatrique (14), et un taux de distraction moyen de moins de 5mm (55). La consolidation se fait par l'apport d'un greffon autologue maintenu par une ostéosynthèse jusqu'à consolidation de ce dernier.

## b - Matériel nécessaire

Le matériel nécessaire à la réalisation de ce protocole chirurgical comprend du matériel de chirurgie osseuse, adapté aux dimensions des structures.

A ce matériel de base, s'ajoute le matériel d'ostéosynthèse : des broches si un embrochage du greffon est réalisé ou bien une plaque vissée adaptée à la taille du segment osseux.

Du matériel de radiographie peropératoire est nécessaire afin de contrôler le bon positionnement trait d'ostéotomie et du matériel d'ostéosynthèse.

## c - Description du protocole chirurgical

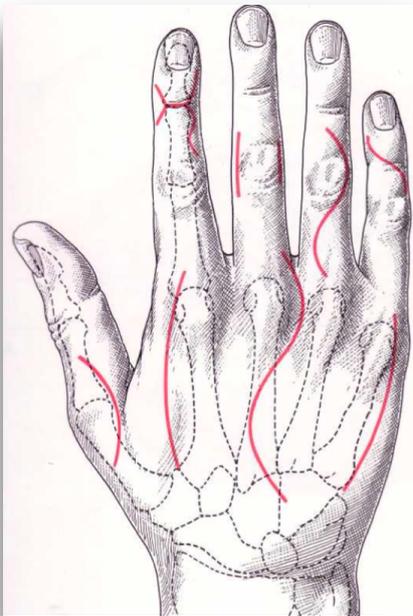


Figure 24 : Voies chirurgicales d'abord dorsal

**1er temps chirurgical** : En dehors de contre-indications anesthésiques, l'intervention est réalisée sous anesthésie générale devant la présence de 2 sites opératoires. Le patient est installé en décubitus dorsal, le membre en pronation sur une table à bras, permettant un accès à la face dorsale de la main pour un allongement de doigt long. Pour un allongement du pouce, la main sera positionnée de façon neutre voir avec une légère supination (56)(57).

Dans le cas d'un métacarpien de doigt long, l'incision sera sur la face dorsale de la main. Dans une atteinte phalangienne, l'incision sera dorsolatérale ou dorsomédiale afin de limiter les adhérences post-opératoires de l'appareil extenseur (**Figure 24**).

Une fois les tissus sous-cutanés disséqués, il est réalisé une ténolyse du tendon extenseurs (métacarpien) ou de l'appareil extenseur (phalange), permettant sa mobilisation et sa protection.

2 options sont possibles afin de réaliser le temps osseux et la distraction :

- soit une distraction est réalisée en posant un fixateur externe temporaire. Les fiches sont mises en place avant la réalisation de la coupe osseuse, permettant une distraction contrôlée avec un maintien de la tension tout au long de l'intervention. Le fixateur est retiré en fin d'intervention une fois l'ostéosynthèse réalisée.

- soit par traction externe afin de permettre la mise en place du greffon préalablement prélevé. Cette technique bien que plus « simple » reste plus aléatoire

du fait d'une tension variable sur les segments osseux ainsi qu'une absence de contrôle d'un éventuel trouble d'axe.

Dans les 2 cas, la coupe osseuse se fait de façon transversale à l'axe osseux après réalisation d'une incision périostée et d'un déperiostage à minima.

Une fois la mesure de l'allongement à réaliser faite, un greffon osseux cortico-spongieux est prélevé selon les préférences de l'opérateur. Ce greffon peut être prélevé sur la crête iliaque, à partir d'un métatarsien donneur ou bien du radius distal ou tout site donneur choisi par le chirurgien.

Le greffon est ensuite mis en place en regard du site d'ostéotomie, et maintenu par du matériel d'ostéosynthèse : plaque vissée avec ou sans vis dans le greffon, brochage centro-médullaire. La fermeture cutanée est ensuite réalisée.

Le suivi est réalisé régulièrement, clinique et radiographique. Une fois la consolidation acquise, le **2ème temps chirurgical** est programmé afin de réaliser le retrait du matériel d'ostéosynthèse.

#### **d - Avantages de la distraction in situ**

La technique d'allongement par distraction in situ permet un allongement en 2 temps opératoires.

Son principal avantage réside dans le fait qu'est utilisé du matériel d'ostéosynthèse interne, permettant un plus grand confort pour le patient mais également une mobilisation plus précoce en post opératoire en comparaison des techniques par distraction externe (58). L'absence de matériel d'ostéosynthèse externe et de protocole de distraction à réaliser par la famille permettrait de diminuer le risque infectieux par l'absence de porte d'entrée et les erreurs de manipulation du matériel.

Cette technique pourrait être indiquée dans les allongements faibles à modérés, quels que soient les besoins fonctionnels du patient, sans critères de contre-indication.

#### **e – Inconvénients de la distraction in situ**

Le principal frein à cette technique est la faible possibilité d'allongement, limitée par les tensions subies par les parties molles lors de la distraction. Cette technique entraîne une morbidité accrue en comparaison de la technique de callotaxis, du fait du prélèvement d'un greffon cortico-spongieux autologue sur un 2<sup>ème</sup> site opératoire avec la rançon cicatricielle liée, le risque infectieux et hémorragique surajouté ainsi que le risque de fracture secondaire sur le site de prélèvement.

## 2 - Distraction osseuse par callotasis

### a - Description

Cette technique chirurgicale est à ce jour considérée comme le gold standard dans le cadre d'une distraction osseuse chez l'enfant. Elle est pensée et conçue à partir des travaux scientifiques sur l'allongement osseux du Dr Ilizarov (**Figure 25**) réalisés dans les années 1950 (59) et décrite par Matev dans le cadre d'allongement de main en 1979 (60) à la suite d'une amputation traumatique du pouce. Son principe consiste à réaliser une ostéotomie diaphysaire sur l'os à allonger et à mettre en place du matériel permettant de stabiliser les fragments osseux tout en allongeant progressivement le foyer osseux. Cette technique permet la formation d'un cal osseux primaire, et du fait d'un allongement lent, de le faire croître par traction progressive grâce au distracteur, à partir du trait d'ostéotomie (61).



Figure 25 : Dr Gavriil Ilizarov (1991)

Une fois l'objectif d'allongement atteint, le fixateur est maintenu afin de permettre la maturation et la consolidation du cal osseux néoformé jusqu'à son ossification. Une fois le cal solidifié, le distracteur externe est retiré.

### b - Matériel nécessaire

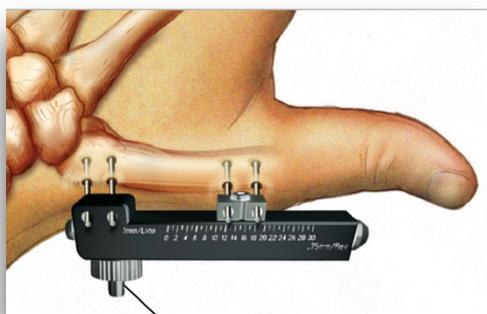


Figure 26 : Exemple de fixateur externe

Le matériel nécessaire à la réalisation de ce protocole chirurgical comprend le matériel décrit dans la technique de distraction in situ.

A ce matériel de base, s'ajoute de façon systématique un distracteur externe ainsi que des fiches ou broches qui lui sont rattachées. Les distracteurs utilisés doivent être adaptés à l'objectif final d'allongement (**Figure 26**) : 1 degré de liberté, avec une course de distraction suffisante afin de ne pas devoir le

changer au cours du protocole. Le matériel doit également être d'un encombrement minimal du fait de l'âge des patients. Leur conception doit également être suffisamment simple afin de permettre aux familles de le manipuler aisément sans risque iatrogénique majeur.

Bien que miniaturisés au possible, les distracteurs utilisés dans la distraction métacarpienne peuvent ne pas être adaptés dans le cas de doigts de petite taille. Il peut être alors nécessaire de réaliser un distracteur léger et peu encombrant (62). Du matériel de radiographie peropératoire est nécessaire afin de contrôler le bon positionnement du trait d'ostéotomie et du matériel d'ostéosynthèse.

### c - Description du protocole chirurgical

**Premier temps chirurgical :** L'installation du patient est réalisée en décubitus dorsal, le membre reposant en pronation, pour permettre l'accès à la face dorsale de la main pour une intervention sur un doigt long. Pour un allongement du 1er métacarpien, la main sera positionnée en pronation légère de façon neutre. Un garrot est positionné à la racine du membre et est gonflé avant l'incision.

Une incision est réalisée en regard du segment intéressé. Une dissection des tissus sous cutanés est réalisée. Dans le cas d'une incision décalée en regard du métacarpien en zone 6 de Verdant, une attention doit être portée afin de ne pas léser les artères intermétacarpiennes dorsales, situées sous le fascia musculaire.

Il faut ensuite réaliser l'individualisation des structures tendineuses. Ce temps est important car il permet la mobilisation du tendon extenseur (pour les métacarpiens) ou de l'appareil extenseur (pour les phalanges) afin de le protéger durant le geste de mise en place des fiches de distraction ou broches. Celles-ci doivent être mises en place en dehors de la course tendineuse afin d'éviter un conflit entre le matériel et les structures, les protégeant des risques de ruptures tendineuses ou de lésions iatrogènes.



Figure 27: Début d'allongement osseux métacarpien

Dans le cadre d'une distraction métacarpienne, les muscles intrinsèques doivent être préservés dans la mesure du possible.

Une fois la corticale osseuse visualisée, un repérage du niveau d'ostéotomie est réalisé, in situ ou de préférence aidé de clichés de radiofluoroscopie peropératoire.

Les fiches ou broches de distraction sont alors mises en place. Un minimum de 4 broches (ou fiches) est souhaitable afin d'assurer une stabilité suffisante au montage réalisé, bien que des montages à 2 broches aient été décrits chez les patients avec des segments trop courts pour en recevoir 4. Les broches (ou fiches) doivent être positionnées de façon symétriques de part et d'autre du trait d'ostéotomie afin de répartir de façon équilibrées les tensions au niveau osseux. Les fiches proximales doivent être positionnées au plus proche, de part et d'autre du trait d'ostéotomie afin de maximiser la stabilité du montage, les 2 autres fiches se positionnent en fonction de l'écartement prévu par le distracteur.

Le matériel doit être mis en place sous contrôle fluoroscopique (**Figure 27**), de façon bi-corticale et être suffisamment rigide afin d'éviter tout cintrage lié aux contraintes de distraction. Ce cintrage conduirait à une angulation dans le foyer en regard de l'allongement. Le matériel doit cependant être suffisamment souple pour permettre la stimulation de l'ostéogénèse du cal. A cela s'ajoute une contrainte de diamètre, le

matériel devant être de suffisamment solide, afin d'assurer une tenue osseuse satisfaisante, mais ne doit pas être trop important, au risque de provoquer des fractures secondaires par fragilisation osseuse. Dans le cas de structures osseuses de petite taille ou de matériel non adapté à une région, rendant impossible la mise en place de 2 fiches dans le segment osseux, il est possible de ponter une articulation.

Une fois ces fiches positionnées avec une tenue satisfaisante, la corticale osseuse est déperiostée à minima en regard du trait de coupe et l'ostéotomie peut être réalisée. Celle-ci doit être transversale aux corticales osseuses.

L'avantage de réaliser la pose des fiches avant l'ostéotomie est de pouvoir anticiper et contrôler l'apparition d'un trouble de rotation. Une fois le distracteur en place, une distraction de quelques millimètres est réalisée sous contrôle de la vue pour éviter toute consolidation précoce de la coupe d'ostéotomie.

Les hémostases sont réalisées, ainsi qu'un rinçage abondant du site opératoire. Les plans cutanés et sous-cutanés sont refermés.

**Distraction** : après une période de latence variable selon les protocoles, la distraction est débutée sur un rythme lent. Après un temps d'éducation thérapeutique, la distraction est réalisée au domicile par le patient selon un protocole préétabli avec le chirurgien.

Un contrôle régulier est réalisé, clinico-radiologique afin de s'assurer de la bonne évolution de la distraction, d'un rythme adapté de la distraction, de l'absence de complication, de la bonne tolérance locale et du respect du protocole. Une fois l'objectif de distraction atteint et le cal osseux consolidé, il est réalisé le **2ème temps chirurgical** avec ablation du fixateur externe.

#### **d - Avantages de l'allongement par callotasis**

La technique par callotasis a pour avantage de proposer un protocole chirurgical en 2 temps relativement simples, contrairement à la distraction/greffe osseuse qui est réalisée en 2 temps dont un 2<sup>ème</sup> plus complexe avec réalisation d'une greffe osseuse.

Cette technique présente également comme avantage une morbidité moindre du fait de l'absence de site donneur de greffon cortico-spongieuse.

Le callotasis présente également comme avantage d'être moins traumatique pour les tissus environnants le site de distraction. Du fait d'une distraction lente, les risques de lésion des structures annexes (vasculaires, nerveuses et musculaires) est théoriquement moindre avec une meilleure répartition temporelle de la tension imposée.

Le protocole est également aisé à mettre en place car constant dans le temps, sans modification de la vitesse de distraction en dehors de complications.

### **e - Inconvénients de la technique de callotasis**

Cette technique impose certaines contraintes, principalement liées au matériel utilisé et à la durée de port du distracteur externe. Cette durée prolongée (minimum de 3 mois pour un allongement de 2cm), majore le risque infectieux, le système de distraction externe étant une porte d'entrée pour les germes (63).

De plus, la mobilisation et les soins de kinésithérapie peuvent être limités durant la période d'allongement et de consolidation, de par le matériel utilisé, pouvant entraîner un enraidissement, temporaire ou définitif, du rayon ou de la main traité (64).

Cette technique peut également être un frein à l'acceptation du protocole et à la bonne observance par la famille et le patient devant le port prolongé du matériel pour une durée de plusieurs mois.

Du fait de manipulations quotidiennes, du port de matériel externe d'ostéosynthèse, du risque infectieux et de réaliser le protocole d'allongement de façon stricte, cette technique est contre-indiquée dans un contexte de débilité ou d'éloignement géographique important. Tout enfant ne semblant pas adapté au port d'un fixateur externe (agitation, inobservance des consignes) doit également être refusé.

### 3 - Technique de distraction/Greffe en 2 temps

#### a - Description

L'allongement de doigt par distraction rapide puis greffe est une technique s'appuyant sur les travaux de Kessler & Al. (25).

#### b - Matériel nécessaire

Le matériel chirurgical utilisé ne présente pas de spécificités particulières par rapport au matériel utilisé dans la techniques de distraction par callotasis.

Il correspond au matériel utilisé dans la technique de distraction par callotasis, auquel s'ajoute un système d'ostéosynthèse interne, par plaque vissée ou des broches.



Figure 28 : Exemple de fixateur externe adapté

#### c - Description du protocole chirurgical

**1er temps chirurgical** : Le premier temps chirurgical est identique à la technique de distraction par callotasis.

**Distraction** : 48 à 72h après l'intervention, lors de l'amélioration des douleurs post-opératoires, la distraction peut être initiée. Elle est réalisée 1 à 2 fois par jour par le patient ou son entourage jusqu'à ce que l'objectif d'allongement soit atteint. Un contrôle radio-clinique rapproché est réalisé par le chirurgien afin de vérifier l'absence de complication et la bonne évolution de la distraction avec absence de formation de cal osseux. Une fois l'objectif de distraction atteint, le 2ème temps chirurgical est réalisé. La vitesse de distraction est plus rapide que dans le cadre d'un callotasis, celle-ci étant la plus rapide possible, selon la tolérance du patient. Le but étant d'atteindre le plus rapidement possible l'objectif de longueur (**Figure 29**).



Figure 29 : Fin de distraction métacarpienne

**2ème temps chirurgical** : L'abord du site d'allongement est réalisé en reprenant la cicatrice du premier temps chirurgical. Après dissection et exposition du site de distraction, il est préparé à recevoir le greffon. Dans le cas d'un allongement métacarpien, un brochage intermétacarpien en distalité du foyer de distraction est

réalisé. L'intérêt de ce brochage est de permettre l'ablation du fixateur externe tout en stabilisant et maintenant la distraction réalisée. Dans le cadre d'un allongement de phalange, il est souvent possible de glisser le greffon avec le fixateur en place.



Figure 30 : Plaque d'ostéosynthèse metacarpienne

Comme dans la distraction in situ, le prélèvement cortico-spongieux peut être réalisé en crête iliaque, sur un métatarsien, sur un métacarpien de la main homolatérale si cela est possible.

Le greffon est ensuite installé dans la position permettant sa meilleure congruence, puis la broche trans-métacarpienne ou le distracteur et ses fiches sont retirés.

Une ostéosynthèse est alors nécessaire, afin de maintenir le greffon. Cette ostéosynthèse se réalise par plaque vissée (**Figure 30**) ou par broche selon la localisation afin de permettre une stabilité optimale. Le but principal étant d'éviter la pseudarthrose du greffon, son déplacement, l'apparition d'une angulation, ou la lyse osseuse. Dans le cas de l'utilisation d'une plaque d'ostéosynthèse, le positionnement d'une vis verrouillée

dans le greffon osseux est possible afin d'augmenter sa stabilité. Dans le cas de perte de mobilité par fibrose des structures tendineuses adjacentes ou par enraidissement articulaire, une libération est réalisable dans ce temps afin d'améliorer le travail de rééducation.

**Suivi :** Le contrôle radio-clinique est poursuivi jusqu'à consolidation et intégration du greffon. Une fois consolidé, le matériel d'ostéosynthèse est retiré. Dans le même temps peut être réalisé une ténolyse, une plastie cicatricielle en cas de cicatrice dysesthétique ou tout geste complémentaire.

#### d - Avantages de la distraction/greffe en 2 temps

Cette technique a été utilisée dans le but de s'affranchir des contraintes de la distraction par callotaxis.

La distraction rapide avec greffe en 2 temps permet de diminuer la durée de port du distracteur de plusieurs semaines pour une longueur d'allongement égale à un allongement par callotaxis (65). Un autre avantage de la distraction rapide est que l'allongement est fait au rythme maximal toléré par le patient, sans contraintes liées à la croissance du cal, simplifiant grandement le protocole d'allongement.

### **e - Inconvénients de la distraction/greffe en 2 temps**

Cette technique nécessite le prélèvement d'un greffon cortico-spongieux autologue lors du 2ème temps chirurgical, obligeant la réalisation d'une incision sur un autre site opératoire avec les risques infectieux et hémorragiques inhérents à toute chirurgie mais également de fracture iatrogène.

Est également en sa défaveur, la réalisation d'un 3ème temps chirurgical nécessaire afin de procéder à l'ablation de matériel d'ostéosynthèse, une fois la greffe osseuse consolidée.

La sélection des patients pouvant bénéficier de l'intervention doit être stricte. Les contre-indications étant principalement liées au port du fixateur externe, celles-ci sont les mêmes que dans la distraction par callotasis.

## **4 - Distraction épiphysaire**

### **a - Description**

Les techniques de distraction épiphysaire sont évoquées et décrites principalement pour des allongements de membre inférieur (66) dans les années 1980. Cette technique est décrite en chirurgie de la main pédiatrique par les Dr Godunova et Schvedovchenko à propos d'allongements de phalanges congénitales ou post-traumatiques avec persistance du cartilage de conjugaison. Cette technique est également utilisée dans les corrections d'angulation (67).

Cette technique s'appuie sur le principe de stimulation par les forces appliquées de l'ossification endochondrale du cartilage de conjugaison distracté en réalisant un décollement épiphysaire de type 1 de la classification de Salter et Harris.

### **b - Matériel nécessaire**

Le matériel nécessaire à la réalisation de cette intervention est minimaliste. Seuls sont nécessaires le matériel de distraction externe et les instruments permettant la mise en place des fiches ou broches osseuses percutanées.

### **c - Description de la technique chirurgicale**

Le patient est installé en décubitus dorsal, selon les mêmes modalités que pour les techniques décrites précédemment.

Un repérage fluoroscopique est alors réalisé afin de repérer la hauteur du cartilage de conjugaison qui sera distracté.

les fiches ou broches de distraction sont ensuite mises en place. 2 broches (ou fiches) sont mises en place dans la métaphyse osseuse jouxtant le cartilage de conjugaison distracté. Les 2 autres fiches peuvent être mises en place longitudinalement ou transversalement dans l'épiphyse concernée par la distraction ou bien si l'espace n'est pas suffisant, sur la structure osseuse adjacente par pontage articulaire du distracteur.

La distraction est réalisée en 2 temps. Dans les suites de l'intervention, le patient est hospitalisé et la distraction est débuté à un rythme lent, entre 0,5mm et 1mm par jour. Cette distraction peut être réalisée en 1 à 4 manipulations quotidiennes. L'objectif est de réaliser la rupture du pont d'épiphysiodèse. Celle-ci se produit classiquement aux alentours du 7<sup>ème</sup> jour de distraction avec une recrudescence des douleurs. Passé ce cap, l'allongement est débuté, avec un protocole correspondant à la technique de callotasis (68). Une fois la longueur cible atteinte, le distracteur est laissé en place le temps de la consolidation du cal néoformé. Une fois la consolidation satisfaisante, le matériel externe est retiré.

Cette technique peut être utilisée afin de permettre la levée d'un pont d'épiphysiodèse (69).

### **d - Avantage de la distraction épiphysaire**

L'avantage premier de la technique par chondrotasis est de ne réaliser que 2 temps chirurgicaux brefs mais également de diminuer la morbidité en évitant la greffe osseuse autologue.

Un autre avantage non négligeable est un gain majeur sur la rançon cicatricielle. En effet cette technique permet de s'affranchir de la cicatrice nécessaire à l'abord pour réaliser l'ostéotomie. Les seules incisions cutanées étant réalisées pour permettre la mise en place du matériel de distraction.

## e - Inconvénients de la distraction épiphysaire

La technique de distraction épiphysaire impose un port de distracteur externe long car le matériel est maintenu durant le temps de distraction et celui de consolidation de la structure osseuse immature obtenue.

Comme pour le callotasis et la distraction greffe, cette technique est contre-indiquée aux contextes familiaux précaires, du fait des manipulations protocolisées du matériel, à réaliser en autonomie.

Un autre frein à l'utilisation de cette technique est l'absence de connaissances de l'état du cartilage de conjugaison distracté. Cette technique s'appuie sur le pré-requis que le cartilage de conjugaison distracté est actif, avec un potentiel de croissance suffisant pour permettre sa stimulation par la distraction. Sans cette condition remplie, toute distraction est vaine et ne pourrait aboutir qu'au mieux à une perte de temps et des douleurs pour le patient. Afin de s'amender de cette problématique, une scintigraphie osseuse peut être réalisée afin d'évaluer l'état d'activité du cartilage intéressé lors d'un bilan préopératoire (70).

# VII - Revue systématique de la littérature

## A - Matériel et méthodologie

L'objectif de cette revue de littérature est d'évaluer l'efficacité de l'allongement osseux chez l'enfant, en comparant les différentes techniques chirurgicales. Nous évaluerons les résultats propres à chaque technique d'allongement en analysant les données disponibles dans la littérature.

Les paramètres analysés, liés aux résultats d'allongement sont : la longueur d'allongement, le pourcentage d'allongement (calculé en faisant le ratio de la longueur distractée par la longueur initiale), la vitesse d'allongement initiale (vitesse de distraction quotidienne utilisée pour débiter la distraction) et la vitesse moyenne de distraction (rapport entre la longueur distractée et le temps de distraction), la durée de l'allongement et de celle de traitement (la durée de traitement est définie comme étant la durée totale de port de distracteur externe) ainsi que le « healing index » (durée de traitement pour obtenir un allongement osseux consolidé d'un centimètre).

Afin de réaliser cette recherche, nous avons utilisé les mots clés : hand, finger, metacarpal, phalanx, lengthening, distraction, child, children, pediatric, callotasis, Matev, Kessler, Ilizarov, osteogenous, graft, bone. Ces recherches ont été réalisées dans différents moteurs de recherche scientifique : Pubmed, Google Scholar ainsi que Base Search. La recherche a également été réalisée en utilisant les termes MeSH correspondants.

Étaient exclues : les publications de cases-reports, les études d'une population mixte (adulte/enfants) sans étude des populations pédiatriques en sous-groupe. Nous avons également exclu les protocoles chirurgicaux avec transfert d'orteil. Étaient exclus de l'analyse les articles ne disposant pas de données sur les critères principaux d'analyse. L'ensemble des patients inclus possédaient des cartilages de conjugaison ouverts lors du protocole d'allongement. Nous n'avons pas retenu le traitement par callotasis avec greffe osseuse en fin de protocole comme un critère d'exclusion.

Nous avons inclus dans cette revue de la littérature les études rétrospectives, les études prospectives, les méta-analyses et les séries de cas. Étaient également inclus toutes les étiologies (congénitale, iatrogène, post-traumatique...), les allongements multiples ainsi que les allongements répétés sur un même rayon et un même segment. Tous les types de matériel d'ostéosynthèse ou de distraction externe ou interne étaient inclus.

Aux données issues de l'analyse de la revue de littérature, nous avons inclus une analyse rétrospective d'un échantillon de 8 enfants, suivis par le Dr Stéphane Guéro ayant bénéficié d'allongement osseux par distraction/greffe, avec son aimable autorisation.

Les patients traités ont été regroupés par technique chirurgicale. Les patients traités par callotasis, distraction/greffe et distraction in situ étaient analysés dans leur groupe respectif. Il n'y avait pas de distinction réalisée dans les sous-populations selon les variations des protocoles chirurgicaux tels que le matériel de fixation ou de distraction utilisé, la fréquence de suivi, l'indication ou le rayon et le segment distracté.

L'analyse statistique a été réalisées à partir du recueil des données présentes et disponibles dans les publications sélectionnées. Les analyses statistiques ont été réalisées par un opérateur à partir du logiciel statistique « R ». Les analyses statistiques ont été réalisées par un test d'ANOVA. Une p-value < 0,05 était considérée significative.

## B – Résultats

Lors de la réalisation des recherches bibliographiques, nous avons trouvés 548 résultats. 13 des articles proposés ont été sélectionnés pour leurs liens avec le sujet abordé. 8 publications ont été incluses dans la revue systématique de la littérature après vérification de la validation des critères d'inclusion et d'exclusion (**Diagramme 1**).

Sur les 8 articles inclus, 4 étaient des études rétrospectives :

- 1 étude comparant distraction in situ, callotasis et on top plasty (55),
- une étude comparant la distraction/greffe en 2 temps, callotasis et distraction in situ (65)
- une étude comparative, évaluant l'utilisation de 2 ou 4 broches dans une distraction par callotasis (71),
- une étude comparative, évaluant les résultats d'allongement métatarsien et métacarpien par callotasis (23)

Les 4 autres publications étaient des analyses de séries de cas :

- 1 revue sur 13 cas d'allongements par callotasis (72),
- 1 revue de cas de 71 allongements par callotasis (73),
- une étude observant la croissance osseuse post-allongement (48),
- Revue de cas sur 5 allongements par callotasis (74).

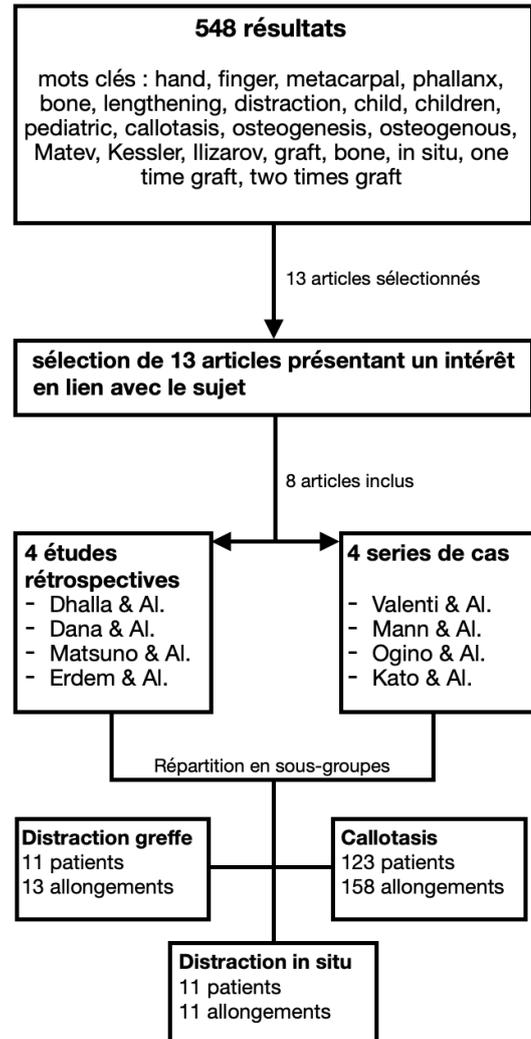


Diagramme 1 : répartition des populations étudiées

Références de l'article	Technique étudiée	Nombre de patients	Durée de suivi moyenne (mois)	Nombre d'allongements	Allongements métacarpiens	Allongements phalanges
Dhalla & Al (référence 16)	- Callotasis	16	35	27	20	7
Danna & Al, 2016 (référence 12)	- Callotasis - Distraction greffe - Distraction in situ	13	>12	15	15	0
Matsuno & Al, 2004 (référence 17)	- Callotasis	15	59	23	12	11
Valenti & Al, 2006 (référence 13)	- Callotasis	10	24	12	9	3
Mann & Al, 2016 (référence 18)	- Callotasis	60	-	71	46	25
Ogino & Al, 1994 (référence 23)	- Callotasis - Distraction in situ	13	40	13	6	7
Erdem & Al, 2007 (Référence 24)	- Callotasis	7	57,5	12	12	0
Kato & Al, 2002 (référence 26)	Callotasis	3	45	6	6	0
Échantillon patientèle	- Distraction greffe	8	24	9	8	1
<b>total</b>	-	<b>145</b>	<b>40,6</b>	<b>188</b>	<b>134</b>	<b>54</b>

Tableau 1 : Publications incluses

L'inclusion des données de ces 8 publications et de notre série de patients nous permet d'analyser un échantillon de 145 patients ayant bénéficié de 188 allongements : 134 allongements métacarpiens et 34 de phalanges. (Tableau 1)

Les pathologies retrouvées dans les articles inclus étaient principalement congénitales (164 patients) (Tableau 2-1), les causes acquises représentaient 11 patients. (Tableau 2-2).

Indications	Arrêt segmentaire développement	Troubles de la différenciation	Duplication	Hypoplasie/hypotrophie	Brides amniotiques	Maladie systémique
Pathologies	- Arret transversal (10)	- Symbrachydactylie (54) - Sd d'Apert (6) - Synostose meta (1)	- main miroir (15)	- Brachymetacarpie (33) - Brachyphalangie (9) - Sd de Poland (1) - Hypoplasie du pouce (2)	- Brides amniotiques (30)	- Chondrodysplasie punctata (1) - Hypoparathyroïdie (1) - Achondroplasie (1)
Nombre de cas	10	61	15	45	30	3

Tableau 2-1 : Étiologies congénitales retrouvées

Indications	Infectieux	Post-traumatique	Vasculaire	Iatrogène
Pathologies	- Nécrose digitale sur maladie de Lyme (4)	- Amputations (2) - Epiphysiodèses (2)	- Ischémie (2)	- Epiphysiodèse iatrogène(1)
Nombre de cas	4	4	2	1

Tableau 2-2 : Étiologies acquises retrouvées

L'allongement osseux par callotasis semble plébiscité dans la littérature avec 123 patients traités contre 11 patients pour les groupes traités par distraction greffe en 2 temps ou par distraction in situ. Le nombre d'allongement évalués est de 164 pour la technique par callotasis (87%), 11 pour la distraction in situ (6%) et 13 pour la distraction/greffe (7%). La plus grande partie des allongements rapportés concernent des distractions métacarpiennes avec 134 allongements (71%), pour 54 allongements de phalanges (29%) (Tableau 3).

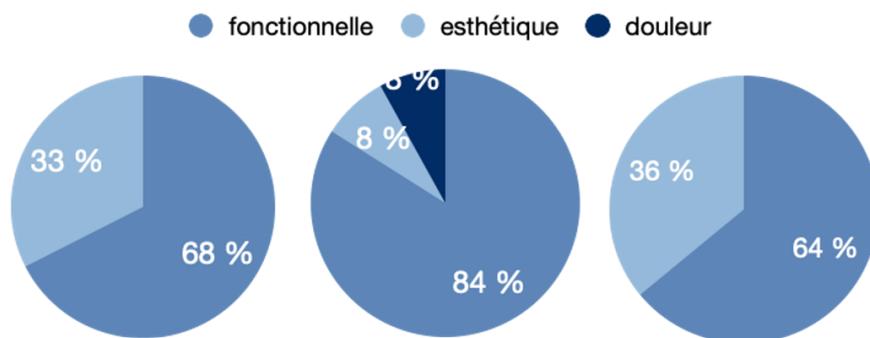
L'âge moyen est de 8 ans et demi pour le groupe de patients traité par distraction in situ, représentant la population la plus jeune. 10 ans est l'âge moyen pour la population traitée par callotasis, tandis que le groupe de patients traités par distraction greffe a un âge moyen de 14,6 ans.

La principale indication retrouvée était fonctionnelle avec 72 allongements, contre 31 pour indication esthétique, 1 pour motif douloureux (Tableau 3, Graphiques 1, 2, 3).

	Nombre de patients	Age moyen (Années)	Nombre d'allongements	Allongements métacarpiens	Allongements de phalanges	Indication
Distraction in situ	11	8,5	11 (6%)	4 (3%)	7 (13%)	Fonctionnel 7 Esthétique 4 Douleur 0
Callotasis	123	10,0	164 (87%)	118 (88%)	46 (85%)	Fonctionnelle 54 Esthétique 32 Douleur 0
Distraction/greffe	11	14,6	13 (7%)	12 (9%)	1 (2%)	Fonctionnel 11 Esthétique 1 Douleur 1
<b>Total</b>	<b>145</b>	<b>10,2</b>	<b>188</b>	<b>134 (71%)</b>	<b>54 (29%)</b>	<b>Fonctionnel 72 Esthétique 31 douleur 1</b>

Tableau 3 : Groupes étudiés

Le délai entre le premier temps chirurgical et le début de la distraction est supérieur dans la technique par callotasis (7,4 jours) par rapport à la distraction greffe (2 jours) (Tableau 4-1).



Graphique 1 : Indication de Callotasis

Graphique 2 : Indication de Distraction/greffe en 2 temps

Graphique 3 : Indication de Distraction in situ

La vitesse d'allongement retrouvée dans le groupe traité par distraction greffe en 2 temps (0,45mm/jour) est plus importante que celle retrouvée dans la technique par callotasis (0,37mm/j) (p-value : 0,0057). On note dans ces 2 groupes une initiation de la distraction à une vitesse supérieure que les vitesses moyennes rapportées (0,62mm/j dans la technique par callotasis vs 1,3mm/jours dans la distraction/greffe) (**tableau 4-1**).

La durée de distraction moyenne est de 44,3 jours dans la population traitée par callotasis contre 37 jours dans la population distraction greffe en 2 temps (p-value = 0,009). La durée de traitement est moindre dans le groupe distraction greffe en 2 temps avec 70,2 jours en moyenne, contre 100 jours pour le groupe callotasis (p-value = 0,0069).

Du fait des protocoles de chaque technique, on peut déduire la durée de port moyen du distracteur dans la population traitée par callotasis à 107 jours, contre 45 jours pour la population traitée par distraction greffe (**Tableau 4-1**).

	Vitesse d'allongement initiale (mm/j)	Vitesse d'allongement moyen (mm/j)	Durée d'allongement	Durée de traitement	Début distraction (jours post-op)	Durée de port de distracteur (Jours)
Distraction in situ	-	-	-	-	-	-
Callotasis	0,62	0,39	44,3	100	7,4	107
Distraction greffe	1,3	0,45	37	70,2	2	45

Tableau 4-1 : résultats d'allongement

Concernant les paramètres d'allongement, nous retrouvons une longueur d'allongement supérieure pour le groupe distraction greffe en 2 temps avec 21,4mm contre 15,9 pour la technique par callotasis (p-value = 0,0075). Les analyses statistiques ne montrent cependant pas de différence significative dans le pourcentage d'allongement entre les groupes distraction greffe en 2 temps et callotasis : 60,2% vs 62,8% (p-value = 0,6793). Le pourcentage d'allongement de la technique par distraction greffe en 1 temps est lui en retrait avec 25% d'allongement pour 7,4mm allongés. (**Tableau 4-2**).

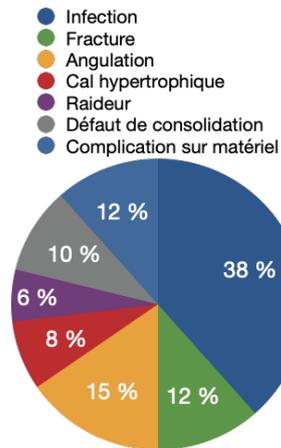
	Longueur préop (mm)	Longueur allongé (mm)	Pourcentage d'allongement	Healing index
Distraction in situ	27,7	7,4	25,6 %	46
Callotasis	25,1	15,9	62,8 %	67,3
Distraction greffe	35,6	21,4	60,2 %	44,6

Tableau 4-2 : Résultats d'allongement

Les analyses statistiques ne mettent pas en avant de différence de la valeur du healing index entre les techniques de distraction greffe (44,4 jours) et de distraction in situ (46 jours). La distraction par callotasis possède un healing index statistiquement rallongé en comparaison des autres techniques avec 67,3 jours en moyenne (p-value = 0,0006) (**Tableau 4-2**).

Seul la satisfaction des patients traités ou de leur parents était rapportée dans 5 publications et dans l'échantillon de patientèle avec un taux de satisfaction de 95% (59/62 patients) dans les publications sélectionnées.

Dans l'ensemble de la population étudiée, le taux de complication était de 28,5% avec 52 évènements indésirables rapportés. La répartition des complications est détaillée dans le **graphique 4**. Il a été rapporté 1 évènement d'enraidissement dans le groupe distraction in situ donnant un taux de complications de 9,1%. Le groupe callotasis a présenté 47 évènements indésirables soit 29,7% de complications, majoritairement des complications infectieuses (20 cas), 5 cas de fractures de cal osseux, 4 cal hypertrophiques, 8 angulations de cal osseux, 1 cas d'enraidissement, 3 défauts de consolidation ainsi que 6 complications sur matériel. Le groupe distraction greffe en 2 temps a présenté 4 évènements indésirables pour un taux de complications de 30,8%. Il a été rapporté 1 cas de fracture du greffon, 1 cas d'enraidissement, 2 défauts de consolidation. Les analyses statistiques ne permettent pas de mettre en évidence de différence entre les incidences des complications retrouvés dans les différents groupes (p-value = 0,9972).



Graphique 4 : Répartition des complications

Les complications semblent être dominées par le risque infectieux avec 20 cas rapportés soit une incidence de 11%. Ces complications infectieuses sont en majorité des infections superficielles en regard des broches ou fiches de distraction, traitées par soins locaux. 8 angulations du site d'allongement (incidence : 4,4%) sont également rapportées, 6 fractures de cal ou de greffon osseux (incidence : 3,2%), 5 défauts de consolidation (incidence : 2,7%), 4 cal hypertrophiques (incidence : 2,1%), 3 cas d'enraidissement (incidence : 1,6%). La population distractée a également présenté 6 cas de complication sur matériel (incidence : 3,2%). Les complications sur matériel sont définies comme un mésusage par le patient du matériel de distraction, une dysfonction du matériel, une perte d'une partie ou de la totalité d'un matériel de distraction ou d'ostéosynthèse. Les infections représentaient 38% des complications dans la population distractée, 15% pour les angulations du foyer de distraction, 12% pour les fractures et les complications sur matériel. Les défauts de consolidation représentaient 10% des complications, les cal hypertrophiques 8% et l'enraidissement 6%. Les données liées aux complications sont listées dans le **tableau 5**.

	Infection	Fracture	Cal hypertrophique	Angulation	Raideur	Défaut de consolidation	Complication sur matériel	Total	Taux de complications
Distraction in situ	0	0	0	0	1	0	0	1	9,1 %
Callotasis	20	5	4	8	1	3	6	47	29,7 %
Distraction greffe	0	1	0	0	1	2	0	4	30,8 %
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>52</b>	<b>28,5 %</b>

Tableau 5 : Complication rapportées

## C - Discussion

Depuis les travaux de Kessler & Al. (25) démontrant la bonne tolérance de la distraction osseuse de la main chez l'enfant, les allongements osseux sont utilisés afin de permettre une amélioration de la fonction ou de l'esthétique de la main. Principalement retrouvée dans la littérature (55)(75), la technique par callotasis implique le port d'un fixateur pour une durée de plusieurs mois. Dans l'optique de diminuer cette durée de port du matériel externe et les problématiques qui y sont liées (64), la technique de distraction greffe en 2 temps a été décrite dans une population pédiatrique. Une première comparaison de ces techniques mais également de la technique par distraction in situ avait été décrite par Dana & Al. (65).

L'objectif de notre revue de littérature était de comparer les résultats de la distraction osseuse de la main en chirurgie pédiatrique. Lors de ce travail, nous n'avons pas mis en évidence de différence statistique entre les techniques de distraction par callotasis (62,8%) et de distraction greffe en 2 temps (60,2%) concernant le pourcentage de distraction. Cependant le Healing index est raccourci en cas de traitement par distraction greffe en 2 temps (44,6 jours), par rapport à la technique de distraction par callotasis (67,3 jours). La durée de port du distracteur est également moindre dans le groupe distraction greffe en 2 temps (45 jours), contre 107 jours dans le groupe traité par callotasis. Nous avons également rapporté des différences en termes de durée de distraction (callotasis : 44,3 jours vs distraction greffe en 2 temps : 37 jours), de vitesse de distraction (callotasis : 0,39mm/jours vs distraction greffe en 2 temps : 0,45mm/jours).

L'analyse réalisée semble également montrer un taux de complications similaire (environ 30%) entre les techniques de distraction/greffe en 2 temps et de callotasis et les articles traitant du sujet dans la littérature (51), le taux de complications du groupe distraction in situ semblant peu interprétable (9,1%).

Cependant, les résultats de cette revue de la littérature restent à relativiser. Les variations de protocole et de matériel au sein d'un même groupe, l'obtention des données à partir des publications et non de données brutes, le déséquilibre des populations des groupes comparés ainsi que le nombre de sources dont sont issues les données peuvent être générateurs de biais dans les résultats présentés.

Les publications incluses n'avaient pas pour objectif d'évaluer la fonction préopératoire et les répercussions d'une distraction osseuse sur celle-ci. Nous n'avons pas retrouvé de publications centrées sur l'évaluation de la qualité de vie dans la littérature tel que réalisé par Lam & Al. (76).

Aux vues des travaux de Papadonikolakis & Al. (77) montrant que la distraction osseuse entraîne une majoration des tensions nécessaires à la bonne mobilisation digitale, une évaluation approfondie et prolongée des enfants traités tels que réalisée sur une série de métacarpiens distractés dans un contexte de brides amniotiques par Iba & Al. (78), centrée sur l'analyse de données fonctionnelles et de la qualité de vie pourrait être intéressante. Cela permettrait de suivre l'évolution fonctionnelle de mains

distractées et son retentissement sur la vie quotidienne ainsi que le bénéfice à la réalisation de ces protocoles.

Il nous semble important d'aborder un autre élément du protocole : la gestion de la cicatrice. Bien qu'elle soit peu discutée dans la prise en charge, car perçue comme la rançon nécessaire au soin, la cicatrice représente un point important dans l'esprit du patient (79) car il s'agit du seul élément visible de sa prise en charge. Dans le cas de distraction de la main, l'incision et la cicatrice, sont localisées sur sa face dorsale, zone socialement exposée, aggravant le retentissement de cette dernière sur le ressenti du patient (80). La cicatrice d'incision peut une fois mature avoir un aspect satisfaisant, cependant les cicatrices liées au matériel de distraction sont souvent dysesthétiques et pourvoyeuses de demandes de reprise de la part des patients (81). Dans le cas d'allongements de faible importance, il nous semble important de limiter au maximum la rançon cicatricielle en favorisant la distraction greffe en 1 temps, afin d'éviter les cicatrices d'ostéosynthèse externe. Dans le cadre d'allongements par callotasis ou distraction greffe en 2 temps, il peut être intéressant de réaliser un geste de plastie cicatricielle lors du dernier temps chirurgical afin d'améliorer au mieux l'aspect cutané à distance.

Aux vues de la littérature et des résultats retrouvés, le principal obstacle à la réalisation de distractions osseuses de la main en population pédiatrique nous semble être le matériel de distraction. Les progrès dans ce domaine et les prochaines avancées dans les allongements osseux pédiatriques pourraient donc être liés à l'évolution du matériel de distraction. Une des voies de développement pourrait être la poursuite de la miniaturisation du matériel externe avec la création de distracteur « low-profil », permettant d'améliorer la tolérance du matériel grâce à un encombrement toujours moindre.

Durant nos recherches, nous avons pu nous intéresser à l'utilisation des distracteurs internes, utilisés principalement en chirurgie maxillo-faciale dans le cadre de distraction mandibulaires. Après quelques modifications, ce matériel a pu être utilisé lors de distraction métacarpienne (82). L'adaptation de ces distracteurs pourrait être intéressante dans le but de limiter l'encombrement du matériel, associée aux techniques décrites précédemment. Une autre voie de progrès dans le matériel utilisé serait l'utilisation de distracteurs résorbables (83), permettant de diminuer d'un temps chirurgical les techniques de distraction avec fixateur externe.

Un autre axe de développement nous semblant prometteur dans les années à venir pourrait être l'utilisation de substitut de tissu osseux synthétisé in vitro (84)(85). S'il s'avère efficace en remplacement d'un greffon cortico-spongieux, l'utilisation de ce substitut permettrait de s'affranchir du prélèvement osseux dans les techniques de distraction greffe en 1 et 2 temps. Il pourrait également permettre d'accélérer la consolidation de cal des protocoles d'allongement par callotasis (25) et ainsi stimuler le processus de consolidation.

## VIII - Conclusion

Malgré des principes chirurgicaux de plus de 70 ans avec la technique de distraction par callotasis du Dr Ilizarov, l'allongement osseux chirurgical de la main de l'enfant reste peu documenté dans la littérature du fait d'un faible nombre d'indications et d'une réalisation peu fréquente. Ces indications sont liées à des étiologies diverses mais majoritairement congénitales, de faible incidence ayant des pronostics et des évolutions variées, faisant grandement fluctuer les résultats pour un même protocole chirurgical.

Il est donc difficile d'évaluer de façon simple les techniques de distraction de main pédiatrique et leurs résultats. Cependant chaque technique d'allongement semble présenter ses avantages et ses inconvénients.

Le callotasis, technique la plus décrite dans la littérature pédiatrique, semble moins traumatique pour les tissus et ne requiert que deux temps chirurgicaux brefs mais nécessite une longue durée de port du fixateur externe. Le callotasis présente un healing index allongé en comparaison aux autres techniques. La distraction par callotasis semble plus appropriée dans le cadre d'allongements osseux importants, pour des origines congénitales ou acquises, chez les patients avec des parties molles à risque de lésions en cas de distraction rapide ou en cas d'allongement trop important pour permettre un prélèvement de greffon osseux compatible. Cependant la durée de port du fixateur pourrait limiter ses indications fonctionnelles, du fait du risque d'enraidissement.

La distraction greffe en 2 temps nous semble une alternative intéressante au callotasis dans des indications congénitales ou acquises avec la nécessité de réaliser un allongement conséquent. Cette technique permet de diminuer le temps de port du matériel externe et possède un healing index diminué en comparaison au callotasis. Cette technique nous semble pouvoir trouver sa place dans les indications fonctionnelles, nécessitant un allongement important avec un objectif de mobilisation précoce accru.

La distraction in situ semble quant à elle présenter des résultats plus modestes mais possède une plus grande facilité de mise en application avec un healing index comparable à la technique par distraction greffe. Elle nous semble indiquée dans les indication de distraction faible à modérée et dans les cas de contre-indication de traitement par distraction avec matériel externe.

Malheureusement, à ce jour, peu de publications évaluent la fonction de main nécessitant un allongement et le résultat de ces allongements. Il serait donc intéressant de pouvoir évaluer en parallèle des résultats de distraction, le bénéfice fonctionnel de ces allongements mais également la qualité de vie des patients ayant bénéficié d'une distraction, dans de nouveaux travaux de recherche.

## IX - Références

1. Perrin J, Geoffroy-Siraudin C, Metzler-Guillemain C. La main : embryologie et principaux mécanismes malformatifs. *Chir Main*. 1 déc 2008;27:S2-6.
2. Benachi A, Babajko S, Barjat T, Beneteau C, Jérémie B, Brennetot N, et al. Premier Rapport sur les Agénésies Transverses des Membres Supérieurs (ATMS) : saisine n° 2018-SA-0242 “ Demande d’avis relatif à l’existence de cas groupés d’agénésie transverse des membres supérieurs dans des zones géographiques restreintes de trois départements (Ain, Morbihan et Loire-Atlantique) ” [Internet]. Santé Publique France ; Agence National de Sécurité Sanitaire, Alimentaire, Environnement, Travail; 2019 juill [cité 13 sept 2022]. Disponible sur: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02512170>
3. Young JJ, Tabin CJ. Saunders’s framework for understanding limb development as a platform for investigating limb evolution. *Dev Biol*. 15 sept 2017;429(2):401-8.
4. Marie P. Différenciation, fonction et contrôle de l’ostéoblaste. *médecine/sciences*. 1 déc 2001;17:1252-9.
5. Duteille F, Beneteau C, Camut MV, Perrot P. [Congenital deformities of the hand and upper limb]. *Ann Chir Plast Esthet*. oct 2016;61(5):429-38.
6. Swanson AB. A classification for congenital limb malformations. *J Hand Surg*. juill 1976;1(1):8-22.
7. De Smet L, IFSSH. International Federation for Societies for Surgery of the Hand JSSH. Japanese Society for Surgery of the Hand. Classification for congenital anomalies of the hand: the IFSSH classification and the JSSH modification. *Genet Couns Geneva Switz*. 2002;13(3):331-8.
8. Tonkin MA, Oberg KC. The OMT Classification of Congenital Anomalies of the Hand and Upper Limb. *Hand Surg Int J Devoted Hand Up Limb Surg Relat Res J Asia-Pac Fed Soc Surg Hand*. oct 2015;20(3):336-42.
9. Watson S. The principles of management of congenital anomalies of the upper limb. *Arch Dis Child*. 1 juill 2000;83(1):10-7.
10. Balakrishnan G, Vijayaragavan S, Somesh B. Symbrachydactyly. *Indian J Plast Surg Off Publ Assoc Plast Surg India*. 1 nov 2021;55(1):7-17.
11. Foucher G, Navarro R, Medina J, Khouri RK. Metacarpal synostosis: a simple classification and a new treatment technique. *Plast Reconstr Surg*. oct 2001;108(5):1225-31; discussion 1232-1234.
12. Horii E, Miura T, Nakamura R, Nakao E, Kato H. Surgical treatment of congenital metacarpal synostosis of the ring and little fingers. *J Hand Surg Edinb Scotl*. oct

1998;23(5):691-4.

13. Watt AJ, Chung KC. Duplication. *Hand Clin.* mai 2009;25(2):215-27.

14. Davis DD, Kane SM. Cleft Hand. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 [cité 8 oct 2022]. Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557807/>

15. Nakagawa K, Takayama S, Hidaka N, Nakamura H. Surgical Treatment of Ulnar Cleft Hand with All Fingers – A Report of Two Patients. *J Hand Surg Asian-Pac Vol.* févr 2022;27(01):178-82.

16. Tafti D, Cecava ND. Poland Syndrome. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 [cité 9 oct 2022]. Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK532259/>

17. Foucras L, Grolleau JL, Chavoïn JP. Syndrome de Poland et malformations de la main : à propos d'une série clinique de 37 patients. *Ann Chir Plast Esthét.* 1 avr 2005;50(2):138-45.

18. Temtamy SA, Aglan MS. Brachydactyly. *Orphanet J Rare Dis.* 13 juin 2008;3:15.

19. Blauth W. [The hypoplastic thumb]. *Arch Orthop Unfallchir.* 1967;62(3):225-46.

20. Ricci JA, Desai NS. Reconstruction of A Type IIIB Hypoplastic Thumb with A Huber Opposition Transfer in A Five-Year-Old Girl: Redefining Surgical Treatment. *World J Plast Surg.* janv 2019;8(1):97-105.

21. Tonkin M. Surgical reconstruction of congenital thumb hypoplasia. *Indian J Plast Surg Off Publ Assoc Plast Surg India.* 2011;44(2):253-65.

22. Danilkin MY. Phalangeal Lengthening Techniques for Brachydactily and Posttraumatic Digital Stumps With the Use of a Modified External Mini-Fixator. *Tech Hand Up Extrem Surg.* juin 2016;20(2):61-6.

23. Erdem M, Sen C, Eralp L, Kocaoğlu M, Ozden V. Lengthening of short bones by distraction osteogenesis--results and complications. *Int Orthop.* juin 2009;33(3):807-13.

24. Kawamura K, Chung KC. Constriction band syndrome. *Hand Clin.* mai 2009;25(2):257-64.

25. Kessler I, Baruch A, Hecht O. Experience with distraction lengthening of digital rays in congenital anomalies. *J Hand Surg.* sept 1977;2(5):394-401.

26. McDonald EJ, De Jesus O. Achondroplasia. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 [cité 8 oct 2022]. Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK559263/>

27. Valizadeh N, Mehdizadeh A, Nazarbaghi S. Short fourth and fifth metacarpals in a case of idiopathic primary hypoparathyroidism. *Indian J Endocrinol Metab.* 2013;17(5):924-6.
28. Levine RH, Foris LA, Nezwek TA, Waseem M. Salter Harris Fractures. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 [cité 5 oct 2022]. Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK430688/>
29. Meyers AL, Marquart MJ. Pediatric Physeal Injuries Overview. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 [cité 8 oct 2022]. Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK560546/>
30. Ilharreborde B. Sequelae of pediatric osteoarticular infection. *Orthop Traumatol Surg Res OTSR.* févr 2015;101(1 Suppl):S129-137.
31. Steinlechner CWB, Mkandawire NC. Non-vascularised fibular transfer in the management of defects of long bones after sequestrectomy in children. *J Bone Joint Surg Br.* sept 2005;87(9):1259-63.
32. Masson E. Infections ostéoarticulaires chez l'enfant [Internet]. EM-Consulte. [cité 6 oct 2022]. Disponible sur: <https://www.em-consulte.com/article/1097595/infections-osteoarticulaires-chez-l-enfant>
33. Gutierrez K. Bone and joint infections in children. *Pediatr Clin North Am.* juin 2005;52(3):779-94, vi.
34. Guo F, Ding BF. Treatment of bone and soft tissue malignant tumours of the extremities by radical resection. A preliminary report of 12 cases. *Arch Orthop Trauma Surg Arch Orthopadische Unf-Chir.* 1981;98(3):201-8.
35. Yildiz C, Erler K, Atesalp AS, Basbozkurt M. Benign bone tumors in children. *Curr Opin Pediatr.* févr 2003;15(1):58-67.
36. Reif TJ, Matthias J, Fragomen AT, Rozbruch SR. Limb Length Discrepancy and Angular Deformity due to Benign Bone Tumors and Tumor-like Lesions. *JAAOS Glob Res Rev.* 10 mars 2021;5(3):e00214.
37. Gerber HP, Ferrara N. Angiogenesis and bone growth. *Trends Cardiovasc Med.* juill 2000;10(5):223-8.
38. Ramasamy SK, Kusumbe AP, Schiller M, Zeuschner D, Bixel MG, Milia C, et al. Blood flow controls bone vascular function and osteogenesis. *Nat Commun.* 6 déc 2016;7(1):13601.
39. Boyd JB, Mulliken JB, Kaban LB, Upton J, Murray JE. Skeletal changes associated with vascular malformations. *Plast Reconstr Surg.* déc 1984;74(6):789-97.
40. Luthi F, Eggel Y, Theumann N. Épiphysiodèse prématurée chez un adolescent traité par rétinoïdes pour une acné : une cause inhabituelle de douleur antérieure du genou. *Rev Rhum.* 1 janv 2012;79(1):83-5.

41. Vargesson N. The teratogenic effects of thalidomide on limbs. *J Hand Surg Eur Vol.* janv 2019;44(1):88-95.
42. Eifel PJ, Donaldson SS, Thomas PRM. Response of growing bone to irradiation: A proposed late effects scoring system. *Int J Radiat Oncol.* 30 mars 1995;31(5):1301-7.
43. I G, Ja K, Rf W. Surgical epiphysiodesis indications and techniques: update. *Curr Opin Pediatr* [Internet]. févr 2011 [cité 9 oct 2022];23(1). Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21169837/>
44. Foucher G, Pajardi G, Lamas C, Medina J, Navarro R. [Progressive bone lengthening of the hand in congenital malformations. 41 cases]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* sept 2001;87(5):451-8.
45. Schreibman KL, Freeland A, Gilula LA, Yin Y. Imaging of the hand and wrist. *Orthop Clin North Am.* oct 1997;28(4):537-82.
46. Choo KWQ, Quah WK, Chang GH, Chan JY. Functional hand proportion is approximated by the Fibonacci series. *Folia Morphol.* août 2012;71(3):148-53.
47. Apaydin A, Yazdirduyev B, Can T, Keklikoglu N. Soft tissue changes during distraction osteogenesis. *Int J Oral Maxillofac Surg.* avr 2011;40(4):408-12.
48. Matsuno T, Ishida O, Sunagawa T, Ichikawa M, Ikuta Y, Ochi M. Bone lengthening for congenital differences of the hands and digits in children. *J Hand Surg.* juill 2004;29(4):712-9.
49. Masson E. Le poignet et la main [Internet]. EM-Consulte. [cité 6 oct 2022]. Disponible sur: <https://www.em-consulte.com/article/659709/le-poignet-et-la-main>
50. Dindo D, Demartines N, Clavien PA. Classification of Surgical Complications. *Ann Surg.* août 2004;240(2):205-13.
51. Scheider P, Ganger R, Farr S. Age-related Outcomes and Complications of Osteodistraction in the Pediatric Upper Extremity: A Large Retrospective Single-center Study of 61 Cases. *J Pediatr Orthop.* févr 2022;42(2):e181-7.
52. Ilizarov GA. The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues. Part I. The influence of stability of fixation and soft-tissue preservation. *Clin Orthop.* janv 1989;(238):249-81.
53. Simpson AH, Williams PE, Kyberd P, Goldspink G, Kenwright J. The response of muscle to leg lengthening. *J Bone Joint Surg Br.* juill 1995;77(4):630-6.
54. Results of the Wagner and Ilizarov methods of limb-lengthening - PubMed [Internet]. [cité 9 oct 2022]. Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8550675/>
55. Ogino T, Kato H, Ishii S, Usui M. Digital lengthening in congenital hand deformities. *J*

Hand Surg Edinb Scotl. févr 1994;19(1):120-9.

56. Newton AW, Tonge XN, Hawkes DH, Bhalai V. Key aspects of anatomy, surgical approaches and clinical examination of the hand. *Orthop Trauma*. 1 févr 2019;33(1):1-13.
57. Hohendorff B, Unglaub F, Spies CK, Wegmann K, Müller LP, Ries C. [Surgical approaches to the hand]. *Oper Orthopädie Traumatol*. oct 2019;31(5):372-83.
58. Sharma A, Pathak S, Sandhu H, Bagtharia P, Kumar N, Bajwa RS, et al. Prospective Randomized Study Comparing the External Fixator and Volar Locking Plate in Intraarticular Distal Radius Fractures: Which Is Better? *Cureus* [Internet]. 2 févr 2020 [cité 5 oct 2022];12(2). Disponible sur: <https://www.cureus.com/articles/27081-prospective-randomized-study-comparing-the-external-fixator-and-volar-locking-plate-in-intraarticular-distal-radius-fractures-which-is-better>
59. Ilizarov GA. The principles of the Ilizarov method. *Bull Hosp Jt Dis Orthop Inst*. 1988;48(1):1-11.
60. Matev IB. Thumb reconstruction in children through metacarpal lengthening. *Plast Reconstr Surg*. nov 1979;64(5):665-9.
61. Hvid I, Horn J, Huhnstock S, Steen H. The biology of bone lengthening. *J Child Orthop*. déc 2016;10(6):487-92.
62. Maegawa J, Ogino H, Saijo M. A simple distraction device for finger lengthening. *Ann Plast Surg*. juill 1999;43(1):87-9.
63. Bai S, Luo L hui, Wu C yun, Li Z bao. [Risk factors of pinhole infection in the fractured lower limbs after external fixation: a case-control study]. *Zhongguo Gu Shang China J Orthop Traumatol*. févr 2016;29(2):154-6.
64. Xie X, Xie X, Qin H, Shen L, Zhang C. Comparison of internal and external fixation of distal radius fractures. *Acta Orthop*. juin 2013;84(3):286-91.
65. Dana C, Aurégan JC, Salon A, Guéro S, Glorion C, Pannier S. Metacarpal lengthening in children: comparison of three different techniques in 15 consecutive cases. *J Hand Surg Eur Vol*. janv 2017;42(1):51-6.
66. Langlois V, Laville JM. [Physeal distraction for limb length discrepancy and angular deformity]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. mai 2005;91(3):199-207.
67. Aldegheri R, Trivella G, Lavini F. Epiphyseal distraction. Hemichondrodiatasis. *Clin Orthop*. avr 1989;(241):128-36.
68. Canadell J, de Pablos J. Breaking bony bridges by physeal distraction. A new approach. *Int Orthop*. 1985;9(4):223-9.
69. Bollini G, Tallet JM, Jacquemier M, Bouyala JM. New procedure to remove a centrally

located bone bar. *J Pediatr Orthop.* oct 1990;10(5):662-6.

70. Yamane T, Kuji I, Seto A, Matsunari I. Quantification of osteoblastic activity in epiphyseal growth plates by quantitative bone SPECT/CT. *Skeletal Radiol.* juin 2018;47(6):805-10.

71. Dhalla R, Strecker W, Manske PR. A comparison of two techniques for digital distraction lengthening in skeletally immature patients. *J Hand Surg.* juill 2001;26(4):603-10.

72. Valenti D, Salazard B, Samson P, Legré R, Magalon G. La distraction osseuse progressive au niveau métacarpien ou phalangien chez l'enfant. *Chir Main.* 1 déc 2006;25(6):298-302.

73. Mann M, Hülsemann W, Winkler F, Habenicht R. [Distraction Osteogenesis is an Effective Method to Lengthen Digits in Congenital Malformations]. *Handchir Mikrochir Plast Chir Organ Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft Handchir Organ Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft Mikrochir Peripher Nerven Gefasse Organ V.* févr 2016;48(1):48-52.

74. Kato H, Minami A, Suenaga N, Iwasaki M, Kimura T. Callotasis lengthening in patients with brachymetacarpia. *J Pediatr Orthop.* août 2002;22(4):497-500.

75. Houshian S, Ipsen T. Metacarpal and phalangeal lengthening by callus distraction. *J Hand Surg Edinb Scotl.* févr 2001;26(1):13-6.

76. Lam A, Fragomen AT, Rozbruch SR. Metacarpal Lengthening in Adults With Brachymetacarpia. *Hand N Y N.* mai 2019;14(3):339-45.

77. Papadonikolakis A, Shen J, Garrett JP, Davis SM, Ruch DS. The effect of increasing distraction on digital motion after external fixation of the wrist. *J Hand Surg.* juill 2005;30(4):773-9.

78. Iba K, Takashima K, Hanaka M, Teramoto A, Emori M, Saito A, et al. Long-term outcomes after phalangeal distraction lengthening in patients with constriction band syndrome. *J Plast Surg Hand Surg.* oct 2021;55(5):268-72.

79. Young VL, Hutchison J. Insights into patient and clinician concerns about scar appearance: semiquantitative structured surveys. *Plast Reconstr Surg.* juill 2009;124(1):256-65.

80. Black S, Macdonald-McMillan B, Mallett X. The incidence of scarring on the dorsum of the hand. *Int J Legal Med.* mai 2014;128(3):545-53.

81. Thione A, Gandolfi E, Mortarino C. A simple and effective technique for improving the appearance of pin-site scars. *Injury.* juin 2010;41(6):e15-16.

82. Bashour LE, Hill C, Frommer SA, Henry SL. Novel Use of an Internal Distractor for Metacarpal Lengthening. *Hand N Y N.* 5 nov 2021;15589447211052756.

83. Burstein FD, Williams JK, Hudgins R, Graham L, Teague G, Paschal M, et al. Single-stage craniofacial distraction using resorbable devices. *J Craniofac Surg.* nov 2002;13(6):776-82.
84. Bone grafts and their substitutes - PubMed [Internet]. [cité 10 oct 2022]. Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26733632/>
85. Rosenberg N, Rosenberg O. Safety and efficacy of in vitro generated bone-like material for in vivo bone regeneration – a feasibility study. *Heliyon.* 14 janv 2020;6(1):e03191.
86. Ilizarov GA, Deviatov AA. [Surgical elongation of the leg]. *Ortop Travmatol Protez.* août 1971;32(8):20-5.
87. Fultz CW, Lester DK, Hunter JM. Single stage lengthening by intercalary bone graft in patients with congenital hand deformities. *J Hand Surg Edinb Scotl.* févr 1986;11(1):40-6.

## X – Figures

- Figure 1 : Développement du membre supérieur, développement du membre supérieur, enseignements DIU chirurgie plastique et reconstructrice de l'enfant et de l'adolescent, support du Dr Guéro
- Figure 2 : Apoptose interdigitale de la palette digitale, développement du membre supérieur, enseignements DIU chirurgie plastique et reconstructrice de l'enfant et de l'adolescent, support du Dr Guéro
- Figure 3 : apoptose interdigitale de la palette digitale, WNT signalling in joint repair and homeostasis, Nalesso, Giovanna 2005, <https://ethos.bl.uk/OrderDetails.do?uin=uk.bl.ethos.558504>
- Figure 4 : Disposition des complexes Hox sur les chromosomes 2, 7, 12 et 17, [https://fr.wikipedia.org/wiki/Gène\\_Hox](https://fr.wikipedia.org/wiki/Gène_Hox)
- Figure 5 : Zone d'expression du complexe Hox D, bourgeon de membre supérieur et ses zones d'expression du complexe HoxD, d'après J.C. Izpua-Belmonte, D. Duboule « Homeobox genes and pattern formation in the vertebrate limb », The hand : Embryology and main malformative mechanisms, Chirurgie de la main Vol 27, sup 1, 12/2008, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1297320308000723#bib11>
- Figure 6 : Bourgeon de membre supérieur, Bourgeon de membre supérieur sous microscopie électronique par Florence PETIT 2014, Benachi A, Babajko S, Barjat T, Beneteau C, Jérémie B, Brennetot N, et al. Premier Rapport sur les Agénésies Transverses des Membres Supérieurs (ATMS) : saisine n° 2018-SA-0242 “ Demande d'avis relatif à l'existence de cas groupés d'agénésie transverse des membres supérieurs dans des zones géographiques restreintes de trois départements (Ain, Morbihan et Loire-Atlantique) ” [Internet]. Santé Publique France ; Agence National de Sécurité Sanitaire, Alimentaire, Environnement, travail; 2019 juill Disponible sur : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02512170>
- Figure 7 : Synthèse des principaux facteurs de signalisation, Saunders's framework for understanding limb development as a platform for investigating limb evolution, Young JJ and Tabin CJ. Saunders, 2017, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012160616306054>
- Figure 8 : Ostéoblaste en microscopie optique, coupe microscopique osseuse, enseignement du tissu osseux 19/20, Faculté de médecine de Oran, [https://facmed-univ-oran.dz/ressources/fichiers\\_produits/fichier\\_produit\\_2245.pdf](https://facmed-univ-oran.dz/ressources/fichiers_produits/fichier_produit_2245.pdf)

- Figure 9 : Microscopie optique d'un ostéocyte, Robert M.Hunt, Wikipedia, <https://stringfixer.com/fr/Osteocyte>
- Figure 10 : Ostéoclaste en microscopie optique, Robert M. Hunt, Wikipédia, <https://fr.wikipedia.org/wiki/Ostéoclaste>
- Figure 11 : tissu osseux trabéculaire en microscopie optique, histologie osseuse, Pr Daniel SEIGNEURIN faculté Joseph Fournier Grenoble 1, [http://campus.cerimes.fr/media/disquemiroir/2015-06-09/UNF3Smiroir/paces2011/seigneurin\\_daniel/seigneurin\\_daniel\\_p04/seigneurin\\_daniel\\_p04.pdf](http://campus.cerimes.fr/media/disquemiroir/2015-06-09/UNF3Smiroir/paces2011/seigneurin_daniel/seigneurin_daniel_p04/seigneurin_daniel_p04.pdf)
- Figure 12 : Schéma d'os cortical, <https://fr.depositphotos.com/vector-images/osteon.html>
- Figure 13 : Photographie d'os trabéculaire, domaine public, <https://www.futura-sciences.com/sante/dossiers/medecine-osteoporose-perde-masse-osseuse-948/page/2/>
- Figure 14 : Schéma de l'ossification endochondrale, <https://www.aquaportail.com/definition-11159-endochondral.html>
- Figure 15 : Agénésie digitale multiple, Agénésie digitale multiple, source non retrouvée
- Figure 16 : Polysyndactylie , <https://chirurgie-plastique-pediatrique.fr/page/syndactylie-malformation-congenitale-de-la-main>
- Figure 17 : Syndrome de Poland, Poland syndrome: from embryological basis to plastic surgery, Vladimir Cingel, Martin Bohac, Veronika Mestanova, Lenka Zabojsnikova & Ivan Varga, surgical and radiologic Anatomy, février 2013 <https://link.springer.com/article/10.1007/s00276-013-1083-7>
- Figure 18 : Brachymesophalangie 5ème rayon, source non retrouvée
- Figure 19 : brachymétacarpie des 4 et 5ème rayons, Brachydactylies isolées et syndromiques : apport de la radiographie des mains, David, Vincent, Quéré, Lefrancois, Frampas <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211570616000126>
- Figure 21 : Classification de Blauth, <https://www.childrenshospital.org/conditions/thumb-hypoplasia-aplasia>
- Figure 20 : Classification de Temtamy, Brachydactylies isolées et syndromiques : apport de la radiographie des mains, David, Vincent, Quéré, Lefrancois, Frampas <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211570616000126>  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211570616000126>

- Figure 22 : Séquelles de brides amniotiques, Le syndrome des brides amniotiques et ses difficultés diagnostiques et de prise en charge au Burkina Faso, Nagalo, Badiel, Yé, <https://www.semanticscholar.org/paper/Le-syndrome-des-bridés-amniotiques-et-ses-et-de-en-Nagalo-Badiel/9923dc1b0ed85ce31f61adbc517bc4accaae5a8d/figure/0>
- Figure 23 : Classification des fractures épiphysaires selon Salter & Harris, <https://www.msmanuals.com/professional/multimedia/figure/salter-harris-classification-of-physeal-disk-growth-plate-fractures>
- Figure 24 : Voies chirurgicales d'abord dorsal, Voies d'abord chirurgicales du membre supérieur, Raoul Tubiana, Christopher Mac Cullough, Alain-Charles Masquelet, <https://www.elsevier-masson.fr/voies-dabord-chirurgicales-du-membre-superieur-9782294018633.html>
- Figure 25 : Dr Gavriil Ilizarov (1991), [https://en.wikipedia.org/wiki/Gavriil\\_Ilizarov](https://en.wikipedia.org/wiki/Gavriil_Ilizarov)
- Figure 26 : Exemple de fixateur externe, Dispositif de distraction externe Acumed, <https://www.acumed.net/products/hand-wrist/external-fixation-system/>
- Figure 27 : Début d'allongement osseux métacarpien, initiation d'allongement osseux du 4ème metacarpien, collection personnelle
- Figure 28 : Exemple de fixateur externe adapté, fixateur externe Orthofix Minirail, <https://www.orthofix.com/ifus/minirail-system/>
- Figure 29 : Fin de distraction metacarpienne, collection personnelle
- Figure 30 : Plaque d'ostéosynthèse metacarpienne, photographie peropératoire d'ablation de plaque d'ostéosynthèse de 3ème métacarpien, collection personnelle

## XI - Serment d'Hippocrate

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

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

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

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

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

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

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

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

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

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré et méprisé si j'y manque.

