



Nouvelle méthode pour calculer la puissance de l'implant intra-oculaire dans la cataracte congénitale en fonction de l'âge

Florence Dupessey

► To cite this version:

Florence Dupessey. Nouvelle méthode pour calculer la puissance de l'implant intra-oculaire dans la cataracte congénitale en fonction de l'âge. Sciences du Vivant [q-bio]. 2021. dumas-03366321

HAL Id: dumas-03366321

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03366321>

Submitted on 5 Oct 2021

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

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

**Nouvelle méthode pour calculer la puissance de l'implant intra-oculaire
dans la cataracte congénitale en fonction de l'âge**

T H E S E A R T I C L E

Présentée et publiquement soutenue devant

**LA FACULTÉ DES SCIENCES MEDICALES ET PARAMEDICALES
DE MARSEILLE**

Le 24 Septembre 2021

Par Madame Florence DUPESSEY

Née le 26 février 1993 à Caracas (VENEZUELA)

Pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

D.E.S. d' OPHTALMOLOGIE NR

Membres du Jury de la Thèse :

Madame le Professeur DENIS Danièle

Madame le Docteur BEYLERIAN Marie

Madame le Docteur AZIZ Aurore

Madame le Docteur PROUST Hélène

Président

Directeur

Assesseur

Assesseur

FACULTÉ DES SCIENCES MÉDICALES & PARAMÉDICALES

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

Assesseurs :

➤ 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

Directeur	:	Pr. Jean-Michel VITON
------------------	---	------------------------------

Chargés de mission

▪ PACES – Post-PACES	:	Pr. Régis GUIEU
▪ DFGSM	:	Pr. Anne-Laure PELISSIER
▪ DFASM	:	Pr. Marie-Aleth RICHARD
▪ 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^{er} cycle : Madame Estelle BOISSIER
- 2^{ème} cycle : Madame Cécile NINA

ÉCOLE DES SCIENCES DE LA RÉADAPTATION

Directeur : **Monsieur Philippe SAUVAGEON**

Chargés de mission

- Masso- kinésithérapie 1^{er} cycle : Madame Béatrice CAORS
- Masso-kinésithérapie 2^{ème} 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
ALDIGHERI René
ALESSANDRINI Pierre
ALLIEZ Bernard
AQUARON Robert
ARGEME Maxime
ASSADOURIAN Robert
AUFFRAY Jean-Pierre
AUTILLO-TOUATI Amapola
AZORIN Jean-Michel
BAILLE Yves
BARDOT Jacques
BARDOT André
BERARD Pierre
BERGOIN Maurice
BERLAND Yvon
BERNARD Dominique
BERNARD Jean-Louis
BERNARD Jean-Paul
BERNARD Pierre-Marie
BERTRAND Edmond
BISSET Jean-Pierre
BLANC Bernard
BLANC Jean-Louis
BOLLINI Gérard
BONGRAND Pierre
BONNEAU Henri
BONNOIT Jean
BORY Michel
BOTTA Alain
BOTTA-FRIDLUND Danielle
BOURGEADE Augustin
BOUVENOT Gilles
BOUYALA Jean-Marie
BREMOND Georges
BRICOT René
BRUNET Christian
BUREAU Henri
CAMBOULIVES Jean
CANNONI Maurice
CARTOUZOU Guy
CAU Pierre
CHABOT Jean-Michel
CHAMLIAN Albert
CHARPIN Denis
CHARREL Michel

MM DEVRED Philippe
DJIANE Pierre
DONNET Vincent
DUCASSOU Jacques
DUFOUR Michel
DUMON Henri
ENJALBERT Alain
FAUGERE Gérard
FAVRE Roger
FIECHI Marius
FARNARIER Georges
FIGARELLA Jacques
FONTES Michel
FRANCES Yves
FRANCOIS Georges
FUENTES Pierre
GABRIEL Bernard
GALINIER Louis
GALLAIS Hervé
GAMERRE Marc
GARCIN Michel
GARNIER Jean-Marc
GAUTHIER André
GERARD Raymond
GEROLAMI-SANTANDREA André
GIUDICELLI Sébastien
GOUDARD Alain
GOUIN François
GRILLO Jean-Marie
GRIMAUD Jean-Charles
GRISOLI François
GROULIER Pierre
HADIDA/SAYAG Jacqueline
HASSOUN Jacques
HEIM Marc
HOUEL Jean
HUGUET Jean-François
JAQUET Philippe
JAMMES Yves
JOUVE Paulette
JUHAN Claude
JUIIN Pierre
KAPHAN Gérard
KASBARIAN Michel
KLEISBAUER Jean-Pierre
LACHARD Jean

CHAUVEL Patrick
CHOUX Maurice
CIANFARANI François
CLAVERIE Jean-Michel
CLEMENT Robert
COMBALBERT André
CONTE-DEVOLX Bernard
CORRIOL Jacques
COULANGE Christian
CURVALE Georges
DALMAS Henri
DE MICO Philippe
DELPERO Jean-Robert
DESSEIN Alain
DELARQUE Alain
DEVIN Robert

MM MICHOTÉY Georges
MIRANDA François
MONFORT Gérard
MONGES André
MONGIN Maurice
MUNDLER Olivier
NAZARIAN Serge
NICOLI René
NOIRCLERC Michel
OLMER Michel
OREHEK Jean
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
RICHAUD Christian
RIDINGS Bernard
ROCHAT Hervé
ROHNER Jean-Jacques
ROUX Hubert

LAFFARGUE Pierre
LAUGIER René
LE TREUT Yves
LEVY Samuel
LOUCHET Edmond
LOUIS René
LUCIANI Jean-Marie
MAGALON Guy
MAGNAN Jacques
MALLAN- MANCINI Josette
MALMEJAC Claude
MARANINCHI Dominique
MARTIN Claude
MATTEI Jean François
MERCIER Claude
METGE Paul

VANUXEM Paul
VERVLOET Daniel
VIALETTES Bernard
WEILLER Pierre-Jean

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
STAHL André
TAMALET Jacques
TARANGER-CHARPIN Colette
THIRION Xavier
THOMASSIN Jean-Marc
UNAL Daniel
VAGUE Philippe
VAGUE/JUHAN Irène

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

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

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
M. le Professeur	NAZARIAN Serge	31/08/2021

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.)
1990	
MM. les Professeurs	J.G. MC LEOD (Australie) J. PORTER (U.S.A.)
1991	
MM. les Professeurs	J. Edward MC DADE (U.S.A.) W. BURGDORFER (U.S.A.)
1992	
MM. les Professeurs	H.G. SCHWARZACHER (Autriche) D. CARSON (U.S.A.) T. YAMAMURO (Japon)
1994	
MM. les Professeurs	G. KARPATI (Canada) W.J. KOLFF (U.S.A.)
1995	
MM. les Professeurs	D. WALKER (U.S.A.) M. MULLER (Suisse) V. BONOMINI (Italie)
1997	
MM. les Professeurs	C. DINARELLO (U.S.A.) D. STULBERG (U.S.A.) A. MEIKLE DAVISON (Grande-Bretagne) P.I. BRANEMARK (Suède)
1998	
MM. les Professeurs	O. JARDETSKY (U.S.A.)
1999	
MM. les Professeurs	J. BOTELLA LLUSIA (Espagne)

D. COLLEN (Belgique)
S. DIMAURO (U. S. A.)

2000

MM. les Professeurs

D. SPIEGEL (U. S. A.)
C. R. CONTI (U.S.A.)

2001

MM. les Professeurs

P-B. BENNET (U. S. A.)
G. HUGUES (Grande Bretagne)
J-J. O'CONNOR (Grande Bretagne)

2002

MM. les Professeurs

M. ABEDI (Canada)
K. DAI (Chine)

2003

M. le Professeur
Sir

T. MARRIE (Canada)
G.K. RADDI (Grande Bretagne)

2004

M. le Professeur

M. DAKE (U.S.A.)

2005

M. le Professeur

L. CAVALLI-SFORZA (U.S.A.)

2006

M. le Professeur

A. R. CASTANEDA (U.S.A.)

2007

M. le Professeur

S. KAUFMANN (Allemagne)

PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

AGOSTINI FERRANDES Aubert	CHOSSEGROS Cyrille
ALBANESE Jacques	COLLART Frédéric
ALIMI Yves	COSTELLO Régis
AMABILE Philippe	COURBIERE Blandine
AMBROSI Pierre	COWEN Didier
ANDRE Nicolas	CRAVELLO Ludovic
ARGENSON Jean-Noël	CUISSET Thomas
ASTOUL Philippe	DA FONSECA David
ATTARIAN Shahram	DAHAN-ALCARAZ Laetitia
AUDOUIN Bertrand	DANIEL Laurent
AUQUIER Pascal	DARMON Patrice
AVIERINOS Jean-François	DAVID Thierry
AZULAY Jean-Philippe	D'ERCOLE Claude
BAILLY Daniel	D'JOURNO Xavier
BARLESI Fabrice	DEHARO Jean-Claude
BARLIER-SETTI Anne	DELAPORTE Emmanuel
BARLOGIS Vincent	DENIS Danièle
BARTHET Marc	DISDIER Patrick
BARTOLI Christophe	DODDOLI Christophe
BARTOLI Jean-Michel	DRANCOURT Michel
BARTOLI Michel	DUBUS Jean-Christophe
BARTOLOMEI Fabrice	DUFFAUD Florence
BASTIDE Cyrille	DUFOUR Henry
BENSOUSSAN Laurent	DURAND Jean-Marc
BERBIS Philippe	DUSSOL Bertrand
BERBIS Julie	EBBO Mikael
BERDAH Stéphane	EUSEBIO Alexandre
BEROUD Christophe	FABRE Alexandre
BERTUCCI François	FAKHRY Nicolas
BLAISE Didier	FELICIAN Olivier
BLIN Olivier	FENOLLAR Florence
BLONDEL Benjamin	FIGARELLA/BRANGER Dominique
BONIN/GUILLAUME Sylvie	FLECHER Xavier
BONELLO Laurent	FOUILLOUX Virginie
BONNET Jean-Louis	FOURNIER Pierre-Edouard
<i>BOUBLI Léon Surnombre</i>	FRANCESCHI Frédéric
BOUFI Mourad	FUENTES Stéphane
BOYER Laurent	GABERT Jean
BREGEON Fabienne	GABORIT Bénédicte
BRETELLE Florence	GAINNIER Marc
BROUQUI Philippe	GARCIA Stéphane
BRUDER Nicolas	GARIBOLDI Vlad
BRUE Thierry	GAUDART Jean
BRUNET Philippe	GAUDY-MARQUESTE Caroline
BURTEY Stéphane	GENTILE Stéphanie
CARCOPINO-TUSOLI Xavier	GERBEAUX Patrick
CASANOVA Dominique	GEROLAMI/SANTANDREA René
CASTINETTI Frédéric	GILBERT/ALESSI Marie-Christine
CECCALDI Mathieu	GIORGI Roch
CHAGNAUD Christophe	GIOVANNI Antoine
CHAMBOST Hervé	GIRARD Nadine
CHAMPSAUR Pierre	GIRAUD/CHABROL Brigitte
CHANEZ Pascal	GONCALVES Anthony
CHARAFFE-JAUFFRET Emmanuelle	GRANEL/REY Brigitte
CHARREL Rémi	GRANVAL Philippe
CHAUMOITRE Kathia	GREILLIER Laurent
CHIARONI Jacques	GROB Jean-Jacques
CHINOT Olivier	GUEDJ Eric

PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

PAGANELLI Franck	ROCHE Pierre-Hugues
PANUEL Michel Surnombre	ROCH Antoine
PAPAZIAN Laurent	ROCHWERGER Richard
PAROLA Philippe	ROLL Patrice
PARRATTE Sébastien Disponibilité	ROSSI Dominique
PELISSIER-ALICOT Anne-Laure	ROSSI Pascal
PELLETIER Jean	ROUDIER Jean
PERRIN Jeanne	SALAS Sébastien
PETIT Philippe	SARLON-BARTOLI Gabrielle
PHAM Thao	SCAVARDA Didier
PIERCECCHI/MARTI Marie-Dominique	SCHLEINITZ Nicolas
PIQUET Philippe	SEBAG Frédéric
PIRRO Nicolas	SIELEZNEFF Igor
POINSO François	SIMON Nicolas
RACCAH Denis	STEIN Andréas
RANQUE Stéphane	TAIEB David
RAOULT Didier Surnombre	THOMAS Pascal
REGIS Jean	THUNY Franck
REYNAUD/GAUBERT Martine	TREBUCHON-DA FONSECA Agnès
REYNAUD Rachel	TRIGLIA Jean-Michel
RICHARD/LALLEMAND Marie-Aleth	TROPIANO Patrick
RICHIERI Raphaëlle	TSIMARATOS Michel

PROFESSEUR DES UNIVERSITES

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

PROFESSEUR CERTIFIE

BRANDENBURGER Chantal retraite mars 2021
FRAISSE-MANGIALOMINI Jeanne

PROFESSEUR DES UNIVERSITES ASSOCIE à MI

REVIS Joana

PROFESSEUR DES UNIVERSITES MEDECINE GEN

GENTILE Gaëtan

PROFESSEUR ASSOCIE DE MEDECINE GENERALE

GUIDA Pierre

PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

GUIEU Régis
GUIS Sandrine
GUYE Maxime
GUYOT Laurent
GUYS Jean-Michel Surnombre
HABIB Gilbert
HARDWIGSEN Jean
HARLE Jean-Robert
HOUVENAEGHEL Gilles
JACQUIER Alexis
JOURDE-CHICHE Noémie
JOUVE Jean-Luc
KAPLANSKI Gilles
KARSENTY Gilles
KERBAUL François détachement
KRAHN Martin
LAFFORGUE Pierre
LAGIER Jean-Christophe
LAMBAUDIE Eric
LANCON Christophe
LA SCOLA Bernard
LAUNAY Franck
LAVIEILLE Jean-Pierre
LE CORROLLER Thomas
LECHEVALLIER Eric
LEGRE Régis
LEHUCHER-MICHEL Marie-Pascale
LEONE Marc
LEONETTI Georges
LEPIDI Hubert
LEVY Nicolas
MACE Loïc
MAGNAN Pierre-Edouard
MANCINI Julien
MEGE Jean-Louis
MERROT Thierry
METZLER/GUILLEMAIN Catherine
MEYER/DUTOUR Anne
MICCALEF/ROLL Joëlle
MICHEL Fabrice
MICHEL Gérard
MICHEL Justin
MICHELET Pierre
MILH Mathieu
MILLION Matthieu
MOAL Valérie
MORANGE Pierre-Emmanuel
MOULIN Guy
MOUTARDIER Vincent
NAUDIN Jean
NICOLAS DE LAMBALLERIE Xavier
NICOLLAS Richard
NGUYEN Karine
OLIVE Daniel
OLLIVIER Matthieu
OUAFIK L'Houcine
OVAERT-REGGIO Caroline
PADOVANI Laetitia

PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

TURRINI Olivier

VALERO René

VAROQUAUX Arthur Damien

VELLY Lionel

VEY Norbert

VIDAL Vincent

VIENS Patrice

VILLANI Patrick

VITON Jean-Michel

VITTON Véronique

VIEHWEGER Heide Elke détachement

VIVIER Eric

XERRI Luc

AHERFI Sarah	ELDIN Carole	PAULMYER/LACROIX Odile
ANGELAKIS Emmanouil (<i>disponibilité</i>)	FAURE Alice	PESENTI Sébastien
ATLAN Catherine (<i>disponibilité</i>)	FOLETTI Jean- Marc	RADULESCO Thomas
BEGE Thierry	FRANKEL Diane	RESSEGUIER Noémie
BELIARD Sophie	FROMNOT Julien	ROBERT Philippe
BENYAMINE Audrey	GASTALDI Marguerite	ROBERT Thomas
BERTRAND Baptiste	GELSI/BOYER Véronique	ROMANET Pauline
BEYER-BERJOT Laura	GIUSIANO Bernard	SABATIER Renaud
BIRNBAUM David	GIUSIANO COURCAMBECK Sophie	SARI-MINODIER Irène
BONINI Francesca	GONZALEZ Jean-Michel	SAVEANU Alexandru
BOUCRAUT Joseph	GOURIET Frédérique	SECQ Véronique (<i>disponibilité</i>)
BOULAMERY Audrey	GRAILLON Thomas	STELLMANN Jan-Patrick
BOULLU/CIOCCA Sandrine	GUERIN Carole	SUCHON Pierre
BOUSSEN Salah Michel	GUENOUN MEYSSIGNAC Daphné	TABOURET Emeline
BUFFAT Christophe	GUIDON Catherine	TOGA Caroline
CAMILLERI Serge	GUIVARCH Jokthan	TOGA Isabelle
CARRON Romain	HAUTIER/KRAHN Aurélie	TOMASINI Pascale
CASSAGNE Carole	HRAIECH Sami	TOSELLO Barthélémy
CERMOLACCE Michel	KASPI-PEZZOLI Elise	TROUSSE Delphine
CHAUDET Hervé	L'OLLIVIER Coralie	TUCHTAN-TORRENTS Lucile
CHRETIEN Anne-Sophie	LABIT-BOUVIER Corinne	VELY Frédéric
COZE Carole	LAFAGE/POCHITALOFF-HUVALE Marina	VION-DURY Jean
CUNY Thomas	LAGARDE Stanislas	ZATTARA/CANNONI Hélène
DADOUN Frédéric (<i>disponibilité</i>)	LAGIER Aude (<i>disponibilité</i>)	
DALES Jean-Philippe	LAGOUANELLE/SIMEONI Marie-Claude	
DARIEL Anne	LEVY/MOZZICONACCI Annie	
DAUMAS Aurélie	LOOSVELD Marie	
DEGEORGES/VITTE Joëlle	MAAROUF Adil	
DELLIAUX Stéphane	MACAGNO Nicolas	
DESPLAT/JEGO Sophie	MAUES DE PAULA André	
DEVILLIER Raynier	MEGE Diane	
DUBOURG Grégory	MOTTOLA GHIGO Giovanna	
DUCONSEIL Pauline	NINOVE Laetitia	
DUFOUR Jean-Charles	NOUGAIREDE Antoine	

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

(mono-appartenants)

ABU ZAINEH Mohammad	DESNUES Benoît	RUEL Jérôme
BARBACARU/PERLES T. A.	MARANINCHI Marie	THOLLON Lionel
BERLAND Caroline	MERHEJ/CHAUVEAU Vicky	THIRION Sylvie
BOYER Sylvie	MINVIELLE/DEVICTOR Bénédicte	VERNA Emeline
COLSON Sébastien	POGGI Marjorie	
DEGIOANNI/SALLE Anna	POUGET Benoît	

MAITRE DE CONFERENCES DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE

CASANOVA Ludovic

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES DE MEDECINE GENERALE à MI-TEMPS

BARGIER Jacques
CALVET-MONTREDON Céline
FORTE Jenny
JANCZEWSKI Aurélie
NUSSLI Nicolas
ROUSSEAU-DURAND Raphaëlle

THERY Didier

MAITRE DE CONFERENCES ASSOCIE à MI-TEMPS

BOURRIQUEN Maryline

EVANS-VIALLAT Catherine

LAZZAROTTO Sébastien

LUCAS Guillaume

MATHIEU Marion

MAYENS-RODRIGUES Sandrine

MELLINAS Marie

ROMAN Christophe

TRINQUET Laure

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

ANATOMIE 4201	ANTHROPOLOGIE 20
----------------------	-------------------------

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)

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)
SECQ Véronique (MCU-PH) *disponibilité*

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

ALBANESE Jacques (PU-PH)
BRUDER Nicolas (PU-PH)
LEONE Marc (PU-PH)
MICHEL Fabrice (PU-PH)
VELLY Lionel (PU-PH)

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

ADALIAN Pascal (PR)

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

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)
RAOULT Didier (PU-PH) *Surnombre*

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)
FROMONOT Julien (MCU-PH)
MOTTOLA GHIGO Giovanna (MCU-PH)
ROMANET Pauline (MCU-PH)
SAVEANU Alexandru (MCU-PH)

ANGLAIS 11	BIOLOGIE CELLULAIRE 4403
-------------------	---------------------------------

BRANDENBURGER Chantal (PRCE) *retraite mars 2021*
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)

ROLL Patrice (PU-PH)

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

BIOPHYSIQUE ET MEDECINE NUCLEAIRE 4301	CARDIOLOGIE 5102
---	-------------------------

GUEDJ Eric (PU-PH)

AVIERINOS Jean-François (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)
GIUSIANO Bernard (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)
PARRATTE Sébastien (PU-PH) Disponibilité
ROCHWERGER Richard (PU-PH)
TROPANO Patrick (PU-PH)

ROLOGIE ; RADIOTHERAPIE 4702CANCEROLOGIE ; RADIOTHERAPIE 4703

BERTUCCI François (PU-PH)
CHINOT Olivier (PU-PH)
COWEN Didier (PU-PH)
DUFFAUD Florence (PU-PH)
GONCALVES Anthony (PU-PH)
HOUVENAEAGHEL 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)

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

CHIRURGIE VISCERALE ET DIGESTIVE 5202

BERDAH Stéphane (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)
BEYER-BERJOT Laura (MCU-PH)
BIRNBAUM David (MCU-PH)
DUCONSEIL Pauline (MCU-PH)
GUERIN Carole (MCU PH)
MEGE Diane (MCU-PH)

CHIRURGIE INFANTILE 5402CHIRURGIE INFANTILE 5402

GUYS Jean-Michel (PU-PH) Surnombre
JOUVE Jean-Luc (PU-PH)
LAUNAY Franck (PU-PH)
MERROT Thierry (PU-PH)
VIEHWEGGER Heide Elke (PU-PH) détachement
DARIEL Anne (MCU-PH)
FAURE Alice (MCU PH)
PESENTI Sébastien (MCU-PH)

FACIALE ET STOMATOLOGIE 5503CHIRURGIE MAXILLO-FACIALE 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)
TROUSSE Delphine (MCU-PH)

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

CASANOVA Dominique (PU-PH)
LEGRE Régis (PU-PH)

BERTRAND Baptiste (MCU-PH)
HAUTIER/KRAHN Aurélie (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)

GASTROENTEROLOGIE ; HEPATOLOGIE ; ADDICTOLOGIE 5201

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

HISTOLOGIE, EMBRYOLOGIE ET CYTOGENETIQUE 4202

LEPIDI Hubert (PU-PH)

PAULMYER/LACROIX Odile (MCU-PH)

GONZALEZ Jean-Michel (MCU-PH)

DERMATOLOGIE - VENEREOLOGIE 5003

BERBIS Philippe (PU-PH)
DELAPORTE Emmanuel (PU-PH)
GAUDY/MARQUESTE Caroline (PU-PH)
GROB Jean-Jacques (PU-PH)
RICHARD/LALLEMAND Marie-Aleth (PU-PH)

GENETIQUE 4704

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

DUSI

COLSON Sébastien (MCF)

TOGA Caroline (MCU-PH)
ZATTARA/CANNONI Hélène (MCU-PH)

BOURRIQUEN Maryline (MAST)
EVANS-VIALLAT Catherine (MAST)
LUCAS Guillaume (MAST)
MAYEN-RODRIGUES Sandrine (MAST)
MELLINAS Marie (MAST)
ROMAN Christophe (MAST)
TRINQUET Laure (MAST)

GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE ; GYNECOLOGIE MEDICALE 5403

AGOSTINI Aubert (PU-PH)
BOUBLI Léon (PU-PH) Surnombre
BRETELLE 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)(06ème section)

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

DEVILLIER Raynier (MCU PH)
GELSI/BOYER Véronique (MCU-PH)
LAFAGE/POCHITALOFF-HUVALE Marina (MCU-PH)
LOOSVELD Marie (MCU-PH)
SUCHON Pierre (MCU-PH)

POGGI Marjorie (MCF) (64ème section)

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)
ROBERT Philippe (MCU-PH)
VELY Frédéric (MCU-PH)

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)

TUCHTAN-TORRENTS Lucile (MCU-PH)

BERLAND Caroline (MCF) (1ère section)

MEDECINE PHYSIQUE ET DE READAPTATION 4905**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

KERBAUL François (PU-PH) détachement
MICHELET Pierre (PU-PH)

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 INTERNE ; GERIATRIE ET BIOLOGIE DU
VIEILLISSEMENT ; ADDICTOLOGIE 5301**

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

BENYAMINE Audrey (MCU-PH)

RANQUE Stéphane (PU-PH)

LE COZ Pierre (PR) (17ème section)

CASSAGNE Carole (MCU-PH)

MATHIEU Marion (MAST)

L'OLLIVIER Coralie (MCU-PH)

TOGA Isabelle (MCU-PH)

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)

TSIMARATOS Michel (PU-PH)

TOSELLO Barthélémy (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)

BONINI Francesca (MCU-PH)

BOULLU/CIOCCA Sandrine (MCU-PH)

DADOUN Frédéric (MCU-PH) (disponibilité)

DELLIAUX Stéphane (MCU-PH)

LAGARDE Stanislas (MCU-PH)

RUEL Jérôme (MCF) (69ème section)

THIRION Sylvie (MCF) (66ème section)

PSYCHIATRIE D'ADULTES ; ADDICTOLOGIE 4903

BAILLY Daniel (PU-PH)

LANCON Christophe (PU-PH)

NAUDIN Jean (PU-PH)

RICHERI Raphaëlle (PU-PH)

CERMOLACCE Michel (MCU-PH)

PNEUMOLOGIE; ADDICTOLOGIE 5101

ASTOUL Philippe (PU-PH)

BARLESI Fabrice (PU-PH)

CHANEZ Pascal (PU-PH)

GREILLIER Laurent (PU PH)

REYNAUD/GAUBERT Martine (PU-PH)

CHOLOGIE - PSYCHOLOGIE CLINIQUE, PSYCHOLOGIE SOCIALE 16

TOMASINI Pascale (MCU-PH)

AGHABABIAN Valérie (PR)

LAZZAROTTO Sébastien (MAST)

RADIOLOGIE ET IMAGERIE MEDICALE 4302

RHUMATOLOGIE 5001

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)

PANUEL Michel (PU-PH) surnombre

PETIT Philippe (PU-PH)

VAROQUAUX Arthur Damien (PU-PH)

VIDAL Vincent (PU-PH)

GUIS Sandrine (PU-PH)

LAFFORGUE Pierre (PU-PH)

PHAM Thao (PU-PH)

ROUDIER Jean (PU-PH)

HERAPEUTIQUE; MEDECINE D'URGENCE; ADDICTOLOGIE 4801

AMBROSI Pierre (PU-PH)

VILLANI Patrick (PU-PH)

STELLMANN Jan-Patrick (MCU-PH)

DAUMAS Aurélie (MCU-PH)

GAINNIER Marc (PU-PH)
GERBEAUX Patrick (PU-PH)
PAPAZIAN Laurent (PU-PH)
ROCH Antoine (PU-PH)

HRAIECH Sami (MCU-PH)

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

A mon Maître et Président du jury

Madame le Professeur Danièle DENIS

Vous me faites l'honneur de présider ce jury de thèse, acceptez pour cela mes plus sincères remerciements.

Votre dévouement pour le service d'ophtalmologie et l'ophtalmo-pédiatrie est exemplaire.

Merci pour vos enseignements et vos conseils au quotidien.

Merci de nous avoir transmis la passion pour le travail scientifique.

Merci de nous avoir guidé et encouragé dans nos domaines de sur spécialisation.

Veillez trouver dans ce travail l'expression de mon plus grand respect et de ma profonde admiration.

A mon Maître et Membre du jury

Madame le Docteur Hélène Proust

Vous me faites l'honneur de juger cette thèse et vous suis très reconnaissante pour votre expertise en réfraction et segment antérieur.

Merci pour les enrichissants moments passés à vos côtés.

Merci pour votre investissement dans la formation médicale et chirurgicale des internes.

Merci pour la confiance que vous me faites dans le domaine de la contactologie.

Veillez trouver dans ce travail l'expression de ma gratitude et mon respect.

A mon Maître et Membre du jury

Madame le Docteur Aurore Aziz

Tu me fais l'honneur de juger cette thèse et je te remercie sincèrement pour ton expertise en ophtalmo-pédiatrie.

Tu es une source d'inspiration sur le plan professionnel et humain.

Merci de m'avoir encouragé dès le début de cette thèse.

Merci pour tes conseils et ta bienveillance tout le long de l'internat.

Merci pour la confiance que tu me fais.

Avec toute ma gratitude et mon respect.

A mon Maître et Directeur de thèse

Madame le Docteur Marie Beylerian

Tu me fais l'honneur de diriger cette thèse et je te remercie sincèrement pour ton expertise.

Tu as su me guider tout le long de ce travail avec des conseils toujours pertinents.

Tu as su me transmettre tes connaissances et ta passion pour l'ophtalmo-pédiatrie.

Merci pour ton énorme investissement dans le service.

Merci pour ton sourire même dans les moments les plus difficiles.

Tu es un exemple à suivre et souhaiterai continuer à travailler à tes côtés.

Avec toute ma gratitude et mon respect.

A mes chefs,

Au Docteur Antoine Khalil et Hugo Castejon, vous m'avez guidé avec beaucoup de bienveillance et de patience dans mes premiers pas d'ophtalmologiste. Vous avez su me transmettre des bases solides pour cette formation si complexe et je vous en remercie sincèrement.

Au Docteur Chaker Nefzaoui, je te remercie pour ton soutien lors de mon passage à Toulon. Je te remercie pour ton humour et ton espagnol toujours impeccable au bloc opératoire.

Au Docteur Clémentine Guis, je te remercie pour ton implication dans la formation chirurgicale des internes. Je garde un excellent souvenir du bloc opératoire à Hyères avec toi. Merci pour ton aisance et tes conseils au bloc qui m'ont fait progresser de façon exponentielle.

Au Docteur Nicolas Moineau, ce fut un énorme plaisir d'être ton premier binôme. Merci pour ta bonne humeur. Merci pour ton investissement dans la DMEK à la Timone (ou 10MEK comme dirai Hugo). Et merci pour ton implication pour la planète (je te promets que je ne prescris plus d'unidoses).

Au Docteur Matthieu Gonzalvez, merci pour ton investissement et ton dynamisme à la Timone. Tu as été un excellent co-interne et chef. Je regrette ne pas avoir pu être ton binôme. Je te remercie pour la confiance que tu me fais en contacto.

Au Docteur Florence Jourdan, depuis notre première rencontre à la Timone votre pratique de la contactologie m'a fasciné. Au fur et à mesure des consultations, c'est devenu une réelle passion et vous m'avez accordé votre confiance. Merci pour toutes les connaissances que vous me transmettez depuis 3 ans maintenant. Vous êtes une vraie source d'inspiration et espère pouvoir continuer à me former à vos côtés. Merci également pour votre bienveillance envers moi tant sur le plan professionnel que personnel.

Au Docteur Elodie Chazalon, Anne Le Corre et Guillaume Holweck, merci de m'avoir guidée dans votre service, de m'avoir appris l'organisation et l'anticipation dans la consultation et au bloc opératoire. Merci pour toutes les connaissances transmises en ophtalmologie et surtout dans le domaine de la cataracte. Votre stage a été un vrai tremplin dans ma progression.

Au Docteur Isabelle Rendu, merci pour votre énorme investissement dans le service. Merci pour votre empathie et votre bienveillance. Merci pour vos conseils professionnels et personnels. Travailler à vos côtés a été un vrai plaisir.

Au Docteur Geneviève Darrason, votre investissement auprès des patients est exemplaire. Merci pour votre expertise dans l'endocrino-ophtalmologie. Merci pour votre bienveillance au quotidien.

Au Docteur Alban Comet, merci pour ton investissement dans l'enseignement chirurgical des internes. Merci pour ton esprit de contradiction qui nous tourne la tête mais nous fait remettre en question en permanence. Merci pour les fous rires au quotidien (#gymdirectmomo).

Au Docteur Pierre Gascon, merci pour ta disponibilité à tout moment. Merci pour ton calme à toute épreuve. Merci pour les connaissances que tu nous transmets au quotidien. Un jour je te vendrai ma maison, ne t'inquiètes pas.

Au Docteur Natacha Stolowy, merci pour ton énorme investissement dans le service et dans l'enseignement des internes. Je garde un souvenir précieux de nos mois de binôme. J'admire profondément tes capacités humaines et ta démarche professionnelle. Tu es une source d'inspiration et travailler avec toi est un vrai bonheur.

Au Docteur Juliette Hugo, merci pour ton expertise essentielle en glaucome. Merci pour ta rigueur et ta capacité de transmission des connaissances. Merci pour ta sincérité, ta sympathie et ta bonne humeur.

Au Docteur Natanael Levy, merci pour ta bienveillance avant même que je commence l'internat. Ton envie de te perfectionner et ton dévouement pour les patients est exemplaire. Merci pour la confiance que tu me fais en contacto.

Au Professeur Thierry David, merci pour votre expertise indispensable au CHU en terme de chirurgie réfractive et segment antérieur. Merci de nous avoir rejoint afin d'améliorer l'organisation du service. Merci pour vos précieux conseils au bloc opératoire. Merci pour votre confiance dans le domaine de contactologie.

A mes co-internes,

Tout d'abord à ma promo 2017, Allan, Thibault, Kévin, Schaffique et Céline. On se connaît tous depuis l'externat à Marseille et on a toujours été une promo soudée malgré le fait d'être la promo crash test de la réforme. J'espère qu'on pourra encore partager de bons moments pendant les années de docteur junior et je vous souhaite de tout cœur le meilleur pour la suite.

Mention spéciale pour Kévin et ces magnifiques moments passés en binôme avec Madame Denis. C'est toujours un plaisir de partager la passion pour la neuro-oph (et les séries coréennes) avec toi.

Mention spéciale pour la Schaffe aussi. Merci pour ta gentillesse et tes longues conversations. Tu es un mec en or. Allez l'OM (bien évidemment).

A Emmanuelle, merci pour ton soutien essentiel lors de notre stage à Toulon. Je te souhaite le meilleur pour ton assistanat partagé.

A Hugo, mon ami et mon co-interne exceptionnel. Depuis notre rencontre aux JRO à Paris j'ai su qu'une belle amitié était en perspective. Depuis notre 1^{er} stage à la Timone, non seulement j'ai confirmé que tu étais un personne extraordinaire mais aussi que tu étais un travailleur toujours prêt à aider ses co-internes. Puis lors de notre passage à Nord et l'équipe formée avec Thibault pendant le confinement a été un de mes plus beaux souvenirs de l'internat. Merci ton humour qui m'a tant remonté le moral, merci pour ton investissement au travail, merci pour ton amitié.

A Ruben Attia, merci pour tes montages et tes GIFF qui égayaient nos conversations au quotidien. Être ta co-interne était un réel plaisir.

A la team actuelle de la Timone, Loïc, Michaël, Alexandre, Valentin, Tony, Vincent, Paul, Théo et Raheef. J'ai passé un semestre extraordinaire à vos côtés. On a pu faire du beau travail en équipe tout en gardant la bonne humeur malgré la situation compliquée du service... Je vous remercie pour tous ces bons souvenirs et vous allez réellement me manquer (pour ceux qui quittent le navire au prochain choix).

Mention spéciale pour Loïc qui a été un excellent organisateur de planning. Je n'ai aucun doute que tu seras un excellent cornéologue et j'ai hâte de travailler avec toi.

A la team passion tennis (et step) qui me redonne le sourire et me permet de me défouler au padel.

A Valentin, pour ton humour un peu décalé, ta passion pour les lasers et ton intérêt pour les lentilles.

A Alexandre, pour ta motivation permanente à l'heure de travailler mais aussi à la sortie de l'hôpital.

A Mathilde Minot, pour ton énorme investissement en tant que référente des internes et ta rigueur au travail.

A Florian Dalmas, pour ta motivation et ton expertise exceptionnelle en paupières. Merci pour l'aide immense que tu m'as apporté dans ce travail. Merci pour ta sympathie. Tu es le chirurgien que tout patient souhaiterait avoir.

A tous les autres, je n'ai pas pu vous citer mais je ne vous oublie pas pour autant.

A mes amis,

A mes copines, Anne-Laure, Fanny et Julie. Depuis notre rencontre à Arles dans les bungalows, entre le froid et les araignées, puis le chaud et les moustiques, on a toujours passé des moments fantastiques ensemble. Puis malgré nos parcours d'internats différents et l'éloignement géographique, on a pu créer une belle amitié. Vous avez toujours été là pour moi dans les bons et les mauvais moments et je vous en suis très reconnaissante. En espérant passer encore d'innombrables moments merveilleux avec vous.

A Louise, ma med gé couturière marseillaise. On s'est rencontrées plus tard dans l'internat mais dès le départ ta bonne humeur et ton humour m'ont marqué. Tu es une fille pétillante pleine de ressources. Merci pour ton soutien tout au long de cet internat et merci pour ton amitié à toute épreuve. Vivement la fin de cette thèse pour qu'on reprenne nos séances de step et nos petits repas ensemble.

A Robin et Lilou (et oui vous dormez chez moi au moment même où j'écris ces remerciements donc impossible de ne pas vous citer). Merci pour cette belle amitié qui perdure malgré la distance. Vivement votre descente dans le sud pour qu'on puisse passer plus de beaux moments ensemble. Vous êtes toujours bienvenus à la maison pour une bouillabaisse (si vous ramenez des cercles à tarte bien sûr).

A Florent Séméria, tu es une de mes plus belles rencontres dans mon parcours de médecine. Merci pour les fous rires mais aussi pour ton sérieux lors de nos sous colles. Merci de nous avoir fait découvrir la méditation et momo.

A Remy Pierron, ton humour, ta gentillesse, ton amitié ont été une vraie bouffée d'oxygène pendant toutes ces années. Tu es une personne extraordinaire. J'espère de tout cœur que tu trouveras le domaine dans lequel tu seras heureux et épanoui.

A ma famille,

A mes parents qui m'ont toujours soutenu et qui m'ont fait confiance dès la première année de médecine. Vous avez toujours été là pour moi malgré les 7 000 kilomètres de distance qui nous séparaient. Sans vous, rien n'aurait été possible. Vous avoir aujourd'hui à mes côtés me rend la personne la plus heureuse du monde. Merci pour votre amour inconditionnelle.

A ma tante Françoise, merci pour ton soutien dès mon arrivée en France. T'avoir près de moi a toujours été une source de tranquillité et m'a permis de m'épanouir dans cette ville qui n'était pas la mienne. Merci pour ton accueil toujours chaleureux.

A Thibault, mon ami, mon co-interne, mon amour. Je te laisse découvrir le mot manuscrit que je t'ai laissé au début de ton exemplaire de thèse même si ce dernier ne sera pas suffisant pour décrire tout ce que je ressens pour toi.

A Louis, Francette, Clément et Sylvia. Vous m'avez accueillie chez vous et vous avez été ma deuxième famille en France depuis maintenant 7 ans. Il n'y a pas assez de mots pour exprimer ma gratitude.

Table des matières

Version en Français	2
Introduction.....	2
Méthodes	2
Résultats.....	4
Discussion	7
Références.....	9
Annexe 1 : analyse de la nouvelle formule	11
Version en anglais	17
Abstract	17
Introduction.....	17
Methods	18
Results	20
Discussion	23
References.....	25
Supplemental Data 1: new formula analysis.....	27

Version en français

Introduction

Le choix de la puissance de l'implant intra-oculaire est crucial dans le développement visuel d'un œil avec une cataracte congénitale. Le choix de la puissance de l'implant chez l'enfant est plus difficile que chez l'adulte pour de multiples raisons. D'une part, les mesures de biométrie et les formules de calcul de puissance de l'implant sont moins précises chez l'enfant. D'autre part, le choix de la cible réfractive nécessite l'anticipation de l'élongation oculaire. La stratégie pour déterminer la cible réfractive chez l'enfant a évolué au fil du temps. Avant 1986, certains auteurs préféraient viser l'emmétropie en post-opératoire immédiat afin de faciliter la rééducation de l'amblyopie¹. Cependant, avec cette méthode, les enfants devenaient rapidement myopes et devaient souvent avoir recours à un changement d'implant. Ainsi, en 1997, Dahan a été l'un des premiers à proposer une sous-correction de l'implant dans la cataracte congénitale¹. En effet, il s'est aperçu que l'hypermétropie résiduelle à cette sous correction n'aggravait pas l'amblyopie tant qu'elle était bien corrigée. Il recommandait donc de choisir 80% de la puissance de l'implant visant l'emmétropie avant l'âge de 2 ans et 90% entre 2 et 8 ans. En 1998, Enyedi a proposé une autre méthode plus précise avec des cibles réfractives différentes en fonction de l'âge d'implantation : +6 dioptries (D) à 1 an, +5 D à 2 ans, +4 D à 3 ans, +3 D à 4 ans, +2 D à 5 ans, +1 D à 6 ans, plan à 7 ans et -1 à -2 D pour les enfants de plus de 8 ans². Ces 20 dernières années, les praticiens ont ajusté ces recommandations en fonction de leur expérience^{3 4}. Cependant, malgré le bon respect de ces méthodes, la majorité des enfants implantés présentent à l'heure actuelle une myopie importante à l'âge adulte^{5 6}. En effet, la plupart de ces méthodes estiment que l'enfant est emmétrope aux alentours de 8 ans. Or, une étude européenne récente incluant plus de 12 000 biométries entre l'âge de 6 et 45 ans a montré que la longueur axiale augmentait jusqu'à l'âge de 15 ans⁷. De plus, aucune de ces méthodes ne prend en compte la longueur axiale initiale de l'œil. Or, chaque individu a une longueur axiale unique déterminée majoritairement par la génétique. Il serait donc intéressant de trouver une méthode plus précise pour calculer la puissance de l'implant chez l'enfant. En 2019, Trivedi et ses associés ont été les premiers à proposer de choisir la puissance de l'implant grâce à un modèle prédisant la croissance de l'œil des enfants avec une cataracte congénitale bilatérale⁸. Cependant, leur modèle se basait sur une équation linéaire alors que la croissance de l'œil se rapproche plus d'une équation logarithmique⁹. L'ensemble de ces arguments nous a donc motivé à proposer une nouvelle formule basée sur un logarithme népérien qui permettra de calculer la puissance de l'implant en fonction de l'âge et de la longueur axiale initiale tout en visant l'emmétropie à l'âge de 15 ans.

L'objectif principal de cette étude est de démontrer que l'erreur réfractive prédite avec la nouvelle formule est moins myope que l'erreur réfractive mesurée chez des enfants opérés au CHU de Marseille entre 2005 et 2020. Secondairement, l'erreur réfractive prédite avec la nouvelle formule sera comparée à l'erreur réfractive prédite avec la méthode de Dahan, Enyedi et Trivedi.

Méthodes

Base de données

Il s'agit d'une étude descriptive rétrospective monocentrique dans laquelle on a recueilli les données des dossiers médicaux des enfants opérés et implantés de cataracte congénitale au CHU Nord de Marseille entre 2005 et 2020. Les caractéristiques collectées dans la base de données étaient : l'âge au diagnostic, le type de cataracte, la présence d'autres pathologies, la kératométrie et longueur axiale avant implantation, le type de biométrie, la puissance de l'implant, la marque de l'implant, la réfraction cible, la formule de calcul de l'implant, l'âge d'implantation, la position de l'implant, les complications per ou post-

opératoires, l'acuité visuelle et la réfraction un mois après implantation ainsi que l'acuité visuelle, la réfraction, la kératométrie et la longueur axiale à la dernière visite. Les enfants ayant un glaucome, un suivi inférieur à un an ou des données manquantes ont été exclus de l'analyse.

Calcul de la puissance de l'implant

Les enfants coopérant ont bénéficié d'une biométrie par interférométrie à cohérence partielle (Lenstar 900, Haag-Streit Diagnostics, Switzerland). Les nouveau-nés, nourrissons et enfants non-coopérants ont bénéficié d'un examen sous anesthésie générale avec mesure de la kératométrie avec un auto refractomètre portable (Retinomax 5, Righton, Japan) et de la longueur axiale avec un échographe mode A (Compact Touch, Quantel Medical, France).

Entre 2005 et 2020, la stratégie de sous-correction des implants dans le service d'ophtalmologie au CHU de Marseille était la suivante : 60% de SRKT entre 0 et 3 mois, 65% entre 3 et 6 mois, 70% entre 6 et 12 mois, 75% entre 12 et 18 mois, 80% entre 18 et 24 mois, 85% entre 24 et 36 mois, 90% entre 36 et 60 mois and 100% au-dessus de 60 mois. A noter que peu d'enfants ont été implantés avant l'âge de 18 mois afin d'éviter les erreurs liées à la forte variation de longueur axiale avant cet âge.

En 2020, une nouvelle stratégie a été proposée dans le service. Cette stratégie était basée sur un modèle de régression logarithmique prédisant la croissance normale de l'œil publié par Bach en 2019⁹ :

- **“Longueur axiale = $0,966 \times \log_e(\text{age}) + 18,270$ ”**

La longueur axiale mesurée par interférométrie ou par échographie avant l'implantation a été comparée à la longueur axiale prédite par Bach au même âge. La différence (Dt) entre la longueur axiale calculée et la longueur axiale mesurée a été ajoutée à la formule logarithmique pour créer un modèle de régression calibré :

- **“Longueur axiale calibrée = $Dt + (0,966 \times \log_e(\text{age}) + 18,270)$ ”**

La longueur axiale à 15 ans et donc la croissance de l'œil entre l'implantation et 15 ans a été prédite avec cette formule calibrée. Cette croissance en millimètres a été transformée en dioptries pour servir de cible réfractive au moment de l'implantation. Finalement, il a été décidé volontairement de choisir l'implant ayant la cible réfractive un cran plus hypermétrope que celle prédite par la nouvelle formule. Les détails de l'analyse de la nouvelle formule se trouvent dans l'Annexe 1.

Technique chirurgicale

La chirurgie de la cataracte a été réalisée par le même chirurgien. L'incision principale était réalisée en temporal puis le chirurgien réalisait un capsulorhexis antérieur, suivi d'une aspiration du cristallin, d'un capsulorhexis postérieur, d'une vitrectomie antérieure puis de l'insertion de l'implant dans le sac ou le sulcus. S'il s'agissait d'une implantation secondaire, l'implant était inséré dans le sulcus ou fixé à la sclère. L'incision était suturée systématiquement par un point de nylon 10/0. Tous les enfants ont reçu un implant acrylique hydrophobe.

Rééducation visuelles

L'acuité visuelle et la réfraction ont été évaluées un mois après l'extraction du cristallin, puis tous les 6 mois. La correction optique totale a été prescrite après le retrait du point un mois après la chirurgie. Des lunettes bifocales ont été prescrites après l'âge de 2 ans. La correction optique était changée uniquement en cas de modification significative de la réfraction. Les enfants avec une cataracte unilatérale devaient réaliser une occlusion de l'œil sain pendant 80 % des heures d'éveil. Les enfants atteints de cataracte bilatérale avaient une occlusion alternée adaptée à leur acuité visuelle.

Analyse statistique

Dans un premier temps, on a calculé l'erreur réfractive un mois après l'implantation et lors de la dernière visite :

- **“Erreur réfractive post-opératoire = équivalent sphérique post-opératoire – cible réfractive”**
- **“Erreur réfractive dernière visite = équivalent sphérique dernière visite – 0 dioptries”.**

Dans un deuxième temps, on a estimé l'erreur réfractive avec la nouvelle méthode :

- **“Erreur réfractive prédite avec la nouvelle méthode = erreur réfractive dernière visite – (cible réfractive de l'implant choisi avec l'ancienne méthode – cible réfractive de l'implant choisi avec la nouvelle méthode)”**

Le calcul de l'erreur réfractive a aussi été réalisé avec la méthode de Dahan, Enyedi et Trivedi. Cette prédiction de l'erreur réfractive avec d'autres méthodes est acceptable car il existe 2 études basées sur la cohorte prospective Infant Aphakia Treatment Study (IATS)^{10 11} qui ont démontré que la croissance de l'œil pseudophake et donc sa réfraction n'étaient pas influencées par l'acuité visuelle, ni le degré d'amblyopie, ni l'âge de l'opération, ni la longueur axiale, ni la kératométrie, ni la puissance de l'implant. Enfin, l'erreur réfractive mesurée à la dernière visite a été comparée à l'erreur réfractive prédite avec la nouvelle méthode, celle de Dahan, celle de Enyedi et celle de Trivedi.

Accessoirement, l'erreur réfractive et le pourcentage de yeux atteignant l'emmétropie à 15 ans ont été prédits en estimant la croissance de l'œil entre le dernier suivi et 15 ans :

- **“Erreur réfractive prédite à 15 ans = erreur réfractive dernière visite + croissance de l'œil entre dernière visite et 15 ans en dioptries”**

Sur le plan statistique, l'analyse de la distribution des données a révélé une distribution non gaussienne des erreurs de réfraction. Les valeurs ont donc été exprimées sous forme de médiane, écart interquartile (EI) et étendue. Les erreurs de réfraction avec les différentes formules ainsi que leurs médianes ont été comparées à l'aide des tests non paramétriques de Wilcoxon et de Friedman. Les pourcentages de yeux avec une erreur réfractive à 15 ans comprises entre $\pm 0,5$ D, ± 1 D et ± 2 D ont été comparés avec le test Q de Cochran. Une valeur de P inférieure à 0,05 a été considérée comme statistiquement significative pour tous les tests. Les tests statistiques ont été réalisés à l'aide du logiciel R (R foundation, Boston, USA).

Résultats

Soixante yeux de 44 enfants opérés entre 2005 et 2020 ont été inclus. Quinze yeux ont été exclus par manque de données, 6 par présence d'un glaucome et 4 en raison d'un suivi inférieur à un an. L'analyse statistique a été réalisée sur 35 yeux de 26 enfants. Neuf enfants ont eu leur 2 yeux inclus car le coefficient de corrélation de l'élongation oculaire montrait que cette croissance n'était que partiellement corrélée (0,65).

Caractéristiques des patients

Parmi les 35 yeux, 17 étaient des yeux droits et 14 des cataractes unilatérales. L'âge médian au diagnostic était 23 mois (étendue de 1 à 110 mois). L'âge médian d'exérèse de la cataracte était 28 mois (étendue 1 à 116 mois) et l'âge médian d'implantation était 51 mois (étendue 24 à 116 mois). En effet, 18 yeux ont eu une implantation secondaire. La longueur axiale préopératoire a été mesurée avec l'échographe sur 17 yeux. L'implant a été placé dans le sac capsulaire (20 yeux), dans le sulcus (9 yeux) ou a été fixé à la sclère

(6 yeux). L'âge médian au dernier contrôle était 95 mois (étendue 46 à 162 mois) avec un délai médian de 40 mois (étendue 12 à 96 mois) entre l'implantation et le dernier suivi (Tableau 1).

Tableau 1. Caractéristiques des yeux avant implantation et à la dernière visite		
Caractéristiques	Implantation Médiane (EI)	Dernière visite Médiane (EI)
Age (mois)	51 (36,5 à 71,5)	95 (80,5 à 117)
Longueur axiale (mm)	21,31 (20,41 à 23,25)	23,09 (21,63 à 24,07)
Astigmatisme cornéen (D)	1,76 (1 à 2,56)	2 (1,33 à 3)
Kératométrie moyenne (D)	43,75 (42,5 à 45,51)	43,72 (41,79 à 45,32)

D = dioptries ; EI = écart interquartile ; mm = millimètres

Erreur réfractive postopératoire

La précision des mesures de longueur axiale et des formules de calcul de puissance d'implant a été évaluée en calculant l'erreur réfractive postopératoire. L'équivalent sphérique médian postopératoire était -0,19 D. L'erreur réfractive médiane postopératoire était -1,45 D (EI -2,71 à -0,36), l'erreur réfractive médiane absolue était 1,62 D et seulement 31% des mesures absolues étaient comprises entre 0 et 1 D. La variation moyenne de l'erreur réfractive entre l'examen postopératoire et la dernière visite était $-2,04 \pm 1,97$ D.

Erreurs réfractives dernière visite

L'erreur réfractive médiane à la dernière visite était -1,75 D (EI -3,69 à -0,44). L'erreur réfractive médiane prédite était 1,09 D (EI -1,38 à 2,15) avec la nouvelle formule, -1,37 D (EI -3,75 à 0,06) avec la formule de Dahan, -0,30 D (EI -1,85 à 1,17) avec la formule Enyedi et 0,84 D (EI -2,22 à 1,81) avec la formule de Trivedi (Figure 1 et 2). Le test de Friedman a révélé une différence statistiquement significative entre toutes les formules ($p < 0,001$). La nouvelle méthode a également été comparée séparément avec les 4 autres méthodes et retrouve à chaque fois une différence statistiquement significative (Tableau 2).

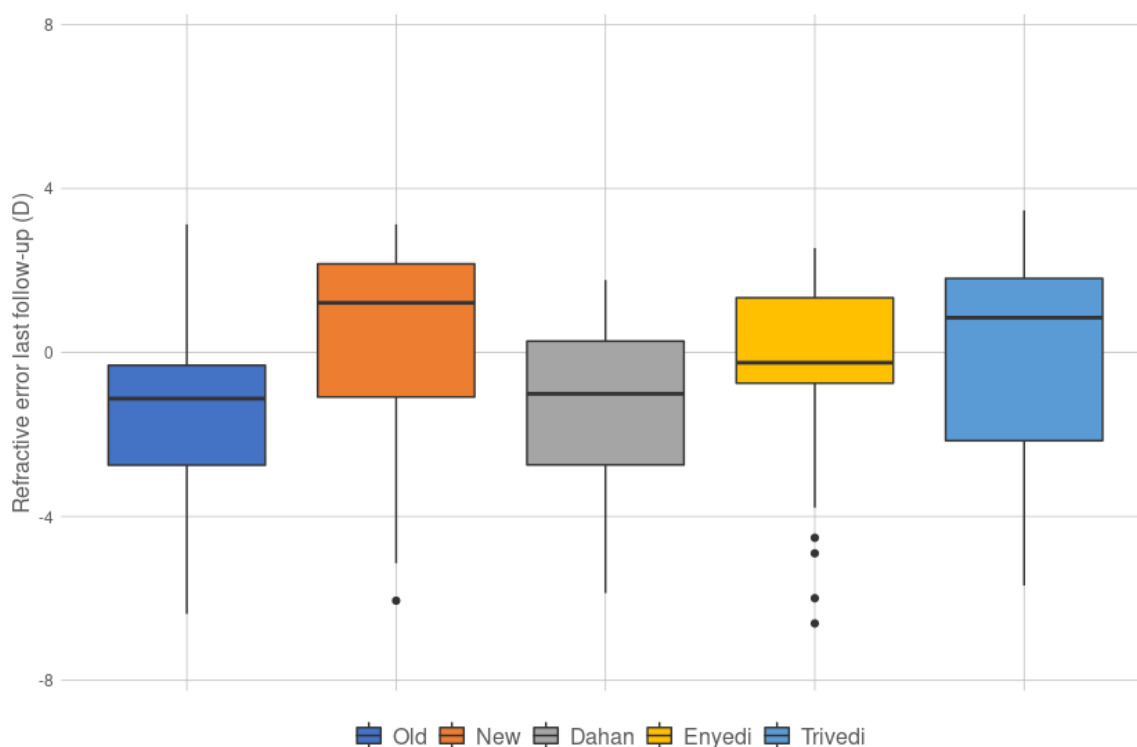


Figure 1. Distribution de l'erreur réfractive au dernier contrôle parmi les 5 méthodes.

Tableau 2. Comparaison des puissances d'implant, des cibles réfractives et des erreurs réfractives à la dernière visite entre la nouvelle méthode et les autres							
Méthode	Puissance implant (D)		Cible réfractive dans la biométrie initiale (D)		Erreur réfractive dernière visite (D)		Analyse statistique
	Médiane	Etendue	Médiane	Etendue	Médiane	Etendue	p
Nouvelle	21	8,5 à 31	3,84	0,78 à 5,94	1,09	-12,18 à 3,13	<0,001
Ancienne	26	11 à 30	1,32	-0,23 à 5,33	-1,75	-14,63 à 3,12	
Dahan	25,5	10 à 34,5	1,68	0,28 à 2,54	-1,37	-13,72 à 1,77	<0,001
Enyedi	23	7 à 33,5	2,97	-1,2 à 5,14	-0,30	-12,48 à 2,55	<0,001
Trivedi	22,5	11 à 30,5	3,46	0,09 à 5,06	0,84	-12,46 à 3,46	0,03

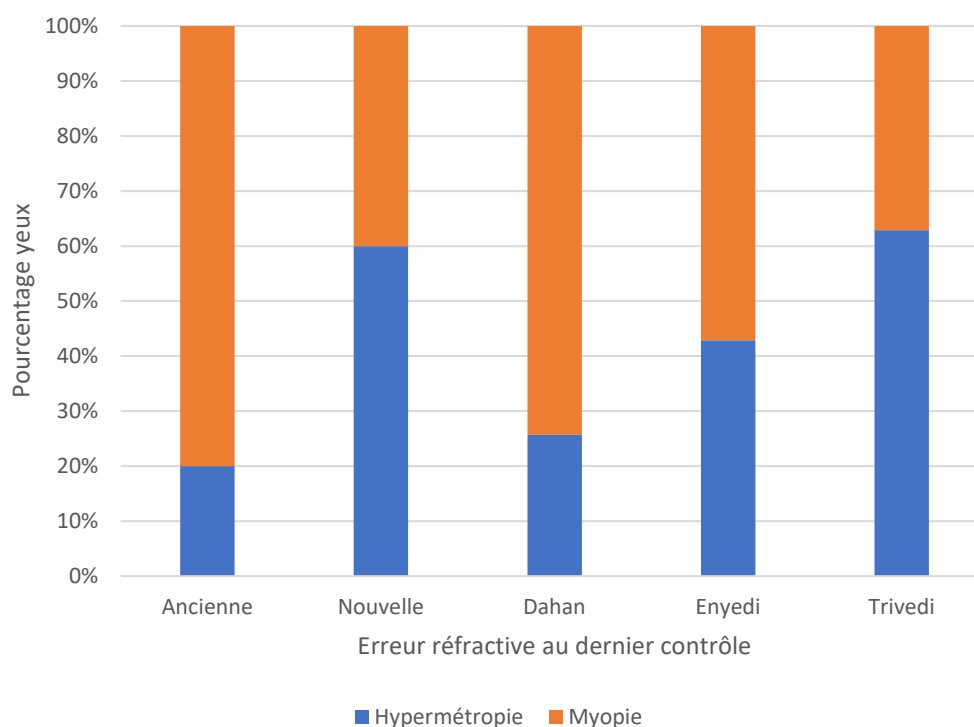


Figure 2. Répartition des erreurs réfractives myopes et hypermétropes à la dernière visite

Prévision des erreurs réfractives à 15 ans

Afin de prévoir les résultats à 15 ans, l'erreur réfractive des 5 formules a été prédite en calculant l'élongation oculaire théorique pour chaque œil entre la dernière visite et l'âge de 15 ans. Le pourcentage de yeux présentant une erreur réfractive entre $\pm 0,5$ D à 15 ans serait 20 % avec la nouvelle méthode et celle de Trivedi, 11 % avec celle de Enyedi et de Dahan et 3 % avec l'ancienne méthode (Figure 3). La répartition des erreurs réfractives entre $\pm 0,5$ D, ± 1 D, ± 2 D et >2 D était statistiquement différente entre les 5 méthodes ($p < 0,001$).

A 15 ans, l'erreur réfractive prédite serait -2,90 D (EI -5,49 à -2,04) avec l'ancienne méthode, -0,67 D (EI -2,76 à 0,37) avec la nouvelle méthode, -2,45 D (EI -5,36 à -1,74) avec la méthode de Dahan, -1,37 D (EI -2,82 à -0,85) avec la méthode de Enyedi et -1,66 D (EI -3,90 à -0,27) avec la méthode de Trivedi.

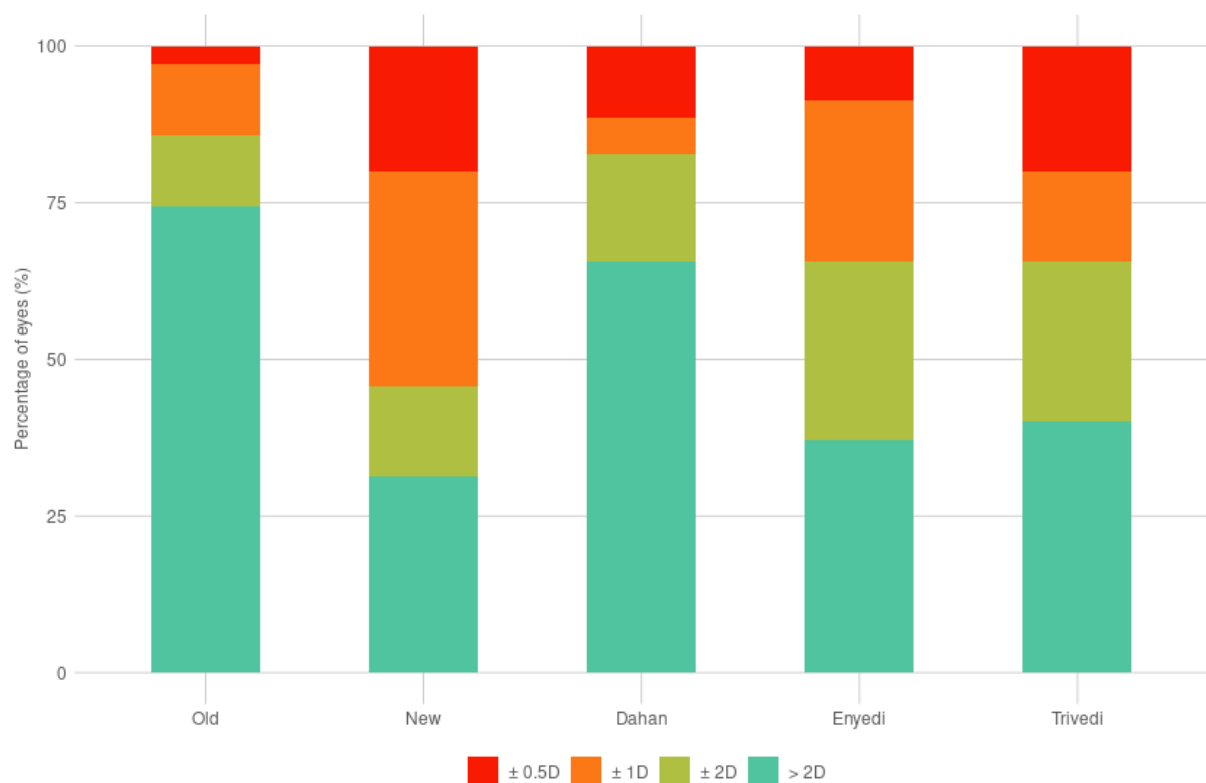


Figure 3. Comparaison de la précision de l'erreur réfractive prédite à 15 ans entre les 5 formules

Discussion

À notre connaissance, il s'agit de la première étude proposant une formule logarithmique pour calculer la puissance de l'implant intra-oculaire dans la cataracte congénitale en fonction de l'âge et de la longueur axiale au moment de l'implantation et visant l'emmétropie à l'âge de 15 ans.

Il existe peu d'études dans la littérature proposant des stratégies pour calculer la puissance de l'implant dans la cataracte congénitale. Dahan a été l'un des premiers à créer des directives en 1997¹. Ces dernières se basaient sur une analyse rétrospective des changements de longueur axiale et de réfraction de 156 yeux (99 enfants) opérés de cataracte congénitale avec un âge médian de suivi de 8 ans. Un an plus tard, Enyedi a proposé d'autres directives établies sur l'évaluation prospective de 83 yeux (32 cataractes traumatiques, 42 cataractes congénitales et 9 cataractes iatrogènes)². Enyedi a déterminé empiriquement des cibles réfractives en fonction de l'âge, a utilisé la formule SRK II et a évalué les changements réfractifs avec l'âge. Dans son étude, le suivi moyen était inférieur à 3 ans. Il n'existe qu'une seule étude dans la littérature validant les directives de Enyedi à l'âge de 7 ans. Il s'agit d'une étude rétrospective qui a analysé 84 yeux¹². Dans cette étude, la variation moyenne de l'erreur réfractive était -1,97 D. À 7 ans, 8 % des yeux étaient emmétropes, 45 % étaient myopes et 46 % étaient hypermétropes. La médiane de l'erreur réfractive à 7 ans était 1,25 D (étendue -9,25 à 5) et l'analyse des sous-groupes a montré que l'erreur réfractive était plus importante et plus hypermétrope chez les enfants implantés avant 2 ans. Dans notre étude, le changement moyen de l'erreur réfractive était similaire (-2,04 D) mais l'erreur réfractive médiane prédite avec la formule de Enyedi était myope (-0,30 D). Ce résultat peut s'expliquer par le fait que dans notre étude, aucun enfant n'a été implanté avant l'âge de 2 ans et que le suivi a duré plus de 7 ans. De plus, dans notre étude, à la dernière visite 47% des yeux étaient hypermétropes et 53% étaient myopes avec la méthode de Enyedi, tandis que 60% des yeux étaient hypermétropes et 40% étaient myopes avec la nouvelle méthode (Figure 2). En effet, la nouvelle méthode présentait l'erreur réfractive médiane la plus hypermétrope au dernier suivi (1,09 D). De plus, l'âge médian à la dernière

visite était 8 ans et le changement de réfraction prédit par la formule Bach entre 8 ans et 15 ans est d'environ 1,60 D. C'est pour cette raison que l'erreur réfractive médiane prédite avec la nouvelle formule à 15 ans était la moins myope et la plus proche de l'emmétropie (-0,67 D).

À notre connaissance, il s'agit de la première étude proposant un logarithme népérien pour prédire la réfraction cible dans la cataracte congénitale. Les anciennes directives proposent des tableaux empiriques avec des réfractions cibles uniquement en fonction de l'âge d'implantation^{1 2 3 4}. En 2018, Bach a établi une courbe de croissance de l'œil normal en étudiant 330 longueurs axiales de 165 enfants âgés de 3 mois à 7 ans sans pathologie intraoculaire⁹. Dans son étude, Bach a comparé différents modèles de régression et a trouvé que la ligne de meilleur ajustement avec la croissance de l'œil correspondait à un logarithme népérien. Cette étude a été réalisée sur des yeux normaux d'enfants de Miami. Donc, avant de généraliser cette formule aux enfants de Marseille atteints de cataracte congénitale, la formule de Bach a été comparée à 30 mesures réalisées à 2 moments différents sur 15 yeux inclus dans notre étude (Annexe 1). La différence (Dt) entre la longueur axiale de Bach et la longueur axiale mesurée a été calculée. L'écart entre la formule de Bach et les mesures était compris entre -10,9 % et 11,1 % (Tableau annexe 1). Après avoir calibré la formule de Bach avec la longueur axiale initiale mesurée de chaque œil, la précision de la formule a été améliorée avec un écart compris entre -3,3% et +1,4% (Tableau annexe 2). La formule de croissance de l'œil calibrée avait une précision acceptable et pouvait alors être appliquée à toute la cohorte. Cette donnée est cohérente avec de multiples études prouvant que les yeux pseudophakes ont la même vitesse de croissance que les yeux aphakes et les yeux normaux¹¹. En 2019, Trivedi et ses associés ont également eu l'idée de choisir la puissance de l'implant en prédisant la croissance de l'œil⁸. Ils ont créé un modèle basé sur les mesures de longueur axiale d'enfants de plus de 2 ans atteints de cataractes congénitales bilatérales avec une implantation primaire. L'équation de Trivedi était linéaire et non logarithmique. Dans notre étude, la formule de Trivedi a donné les deuxièmes meilleurs résultats après notre formule. Même si leur équation linéaire ne suivait pas la courbe logarithmique physiologique de la croissance de l'œil, elle a donné de bons résultats car leur équation avait presque la même inclinaison que la nôtre vers 15 ans (figure supplémentaire 2).

A notre connaissance, il s'agit également de la première étude proposant une stratégie ciblant l'emmétropie à 15 ans. En effet, il existe peu d'études analysant la croissance de l'œil après l'âge de 7 ans⁹. En 1971, Larsen a étudié la longueur axiale de 1 582 yeux entre 6 mois et 13 ans et a démontré qu'il existait une croissance jusqu'à l'âge de 13 ans¹³. En 2007, Trivedi a étudié la longueur axiale des enfants avec une cataracte congénitale et a trouvé une longueur axiale plus importante d'environ 1 mm dans le groupe de 10 à 18 ans¹⁴. Cependant, il n'a pas trouvé une croissance significative après l'âge de 15 ans. En 2018, Tideman a analysé l'élongation oculaire de 3 cohortes (l'étude génération R, l'ALSPAC et la RS-III) incluant des sujets normaux de 6 ans à 45 ans⁷. Cette étude incluant plus de 12 000 mesures de biométrie oculaire a révélé que la longueur axiale médiane augmentait de 1,28 mm entre 6 ans et l'âge adulte et que la croissance existait jusqu'à l'âge de 15 ans. Tideman a également démontré que les enfants myopes avaient une croissance oculaire plus rapide que les emmétropes et les hypermétropes. Cibler l'emmétropie à 15 ans pourrait donc minimiser le degré de myopie chez les enfants pseudophakes à l'âge adulte. Weakley a analysé le changement de réfraction après l'implantation dans la cohorte de l'IATS et a trouvé une erreur réfractive moyenne de 2,94 D à 1 an et de -2,53 D à 5 ans¹⁵. En outre, les enfants atteints de glaucome avaient été exclus de cette analyse, ce qui signifie que l'erreur réfractive myopique à 5 ans était probablement secondaire à une sous-correction insuffisante de l'implant.

Le calcul de la puissance de l'implant chez les enfants est difficile car il faut anticiper l'élongation oculaire et gérer une erreur réfractive plus importante que chez l'adulte. L'erreur réfractive postopératoire est plus importante chez les enfants car les formules de calcul de puissance d'implant sont peu précises dans les yeux courts et car les mesures de kératométrie et de longueur axiale sont fréquemment erronées.

Enyedi a obtenu des résultats similaires aux nôtres avec seulement 38 % d'erreurs réfractives postopératoires comprises entre 0 et 1 D². Par ailleurs, la précision des formules de calcul de puissance d'implant a été analysée dans l'IATS¹⁶. La médiane d'erreur réfractive absolue était comprise entre 1,3 D pour la formule SRKT et 3,5 D pour la formule Haigis. Dans notre étude, l'erreur de prédiction absolue avec la formule SKRT était égale à 1,6 D. De plus, cette erreur réfractive était principalement myope dans l'ensemble des études. Donc, le fait de prendre l'implant avec une cible réfractive plus hypermétrope que celle prédite avec la nouvelle formule a permis de compenser cette erreur (Annexe 1).

Cette étude présente des limites. Premièrement, il s'agit d'une étude rétrospective monocentrique avec un faible échantillon. Deuxièmement, aucun enfant de la cohorte n'a été implanté avant 2 ans. L'utilisation de cette formule n'est donc pas recommandée avant cet âge. De plus, l'âge médian lors du dernier suivi était 8 ans alors que l'objectif de la nouvelle méthode était de viser l'emmétropie à 15 ans. Une étude plus longue sera donc nécessaire pour valider cette méthode. Troisièmement, les changements de kératométrie n'ont pas été pris en compte car l'aplatissement cornéen survient principalement au cours de la première année de vie. Enfin, certaines données restent encore inconnues. En effet, il n'existe à notre connaissance aucune étude analysant l'influence de la position de l'implant sur la longueur axiale ou vérifiant si la position effective de l'implant change avec l'âge.

Pour conclure, les anciennes stratégies pour déterminer la puissance de l'implant dans la cataracte congénitale ne tiennent pas compte de la longueur axiale initiale et visent l'emmétropie avant 15 ans. Cette nouvelle stratégie basée sur un logarithme népérien prédisant la croissance de l'œil et visant l'emmétropie à l'âge de 15 ans pourrait améliorer les résultats visuels dans les cataractes pédiatriques. Sous réserve d'études complémentaires, cette nouvelle formule pourrait aider à réduire la myopie chez les enfants implantés dans la cataracte congénitale.

Références

1. Dahan E, Drusedau MU. Choice of lens and dioptric power in pediatric pseudophakia. *J Cataract Refract Surg*. 1997;23 Suppl 1:618-623. doi:10.1016/s0886-3350(97)80043-0
2. Enyedi LB, Peterseim MW, Freedman SF, Buckley EG. Refractive changes after pediatric intraocular lens implantation. *American Journal of Ophthalmology*. 1998;126(6):772-781. doi:10.1016/S0002-9394(98)00247-5
3. Plager DA, Kipfer H, Sprunger DT, Sondhi N, Neely DE. Refractive change in pediatric pseudophakia: 6-year follow-up. *J Cataract Refract Surg*. 2002;28(5):810-815. doi:10.1016/s0886-3350(01)01156-7
4. Trivedi RH, Wilson ME. Selecting Intraocular Lens Power in Children. American Academy of Ophthalmology. Published January 1, 2006. Accessed August 17, 2021. <https://www.aao.org/eyenet/article/selecting-intraocular-lens-power-in-children>
5. Lekskul A, Chuephanich P, Charoenkijakorn C. Long-term outcomes of intended undercorrection intraocular lens implantation in pediatric cataract. *Clin Ophthalmol*. 2018;12:1905-1911. doi:10.2147/OPHTH.S176057
6. VanderVeen DK, Drews-Botsch CD, Nizam A, Bothun ED, Wilson LB, Wilson ME, Lambert SR, Infant Aphakia Treatment Study. Outcomes of secondary intraocular lens implantation in the Infant Aphakia Treatment Study. *J Cataract Refract Surg*. 2021;47(2):172-177. doi:10.1097/j.jcrs.0000000000000412

7. Tideman JWL, Polling JR, Vingerling JR, Jaddoe VVW, Williams C, Guggenheim JA, Klaver CCW. Axial length growth and the risk of developing myopia in European children. *Acta Ophthalmol*. 2018;96(3):301-309. doi:10.1111/aos.13603
8. Trivedi RH, Barnwell E, Wolf B, Wilson ME. A Model to Predict Postoperative Axial Length in Children Undergoing Bilateral Cataract Surgery With Primary Intraocular Lens Implantation. *Am J Ophthalmol*. 2019;206:228-234. doi:10.1016/j.ajo.2019.04.018
9. Bach A, Villegas VM, Gold AS, Shi W, Murray TG. Axial length development in children. *Int J Ophthalmol*. 2019;12(5):815-819. doi:10.18240/ijo.2019.05.18
10. Vasavada AR, Vasavada V, Shah SK, Praveen MR, Vasavada VA, Trivedi RH, Rawat F, Koul A. Five-Year Postoperative Outcomes of Bilateral Aphakia and Pseudophakia in Children up to 2 Years of Age: A Randomized Clinical Trial. *American Journal of Ophthalmology*. 2018;193:33-44. doi:10.1016/j.ajo.2018.06.005
11. Wilson ME, Trivedi RH, Weakley DR, Cotsonis GA, Lambert SR. Globe Axial Length Growth at Age 5 Years in the Infant Aphakia Treatment Study. *Ophthalmology*. 2017;124(5):730-733. doi:10.1016/j.opthta.2017.01.010
12. Sachdeva V, Katukuri S, Kekunnaya R, Fernandes M, Ali MH. Validation of Guidelines for Undercorrection of Intraocular Lens Power in Children. *American Journal of Ophthalmology*. 2017;174:17-22. doi:10.1016/j.ajo.2016.10.017
13. Larsen JS. The sagittal growth of the eye. IV. Ultrasonic measurement of the axial length of the eye from birth to puberty. *Acta Ophthalmol (Copenh)*. 1971;49(6):873-886. doi:10.1111/j.1755-3768.1971.tb05939.x
14. Trivedi RH, Wilson ME. Biometry data from caucasian and african-american cataractous pediatric eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2007;48(10):4671-4678. doi:10.1167/iovs.07-0267
15. Weakley DR, Lynn MJ, Dubois L, Cotsonis G, Wilson ME, Buckley EG, Plager DA, Lambert SR. Myopic shift 5 years after IOL implantation in the Infant Aphakia Treatment Study. *Ophthalmology*. 2017;124(6):822-827. doi:10.1016/j.opthta.2016.12.040
16. VanderVeen DK, Trivedi RH, Nizam A, Lynn MJ, Lambert SR. Predictability of Intraocular Lens Power Calculation Formulae in Infantile Eyes With Unilateral Congenital Cataract: Results from the Infant Aphakia Treatment Study. *American Journal of Ophthalmology*. 2013;156(6):1252-1260.e2. doi:10.1016/j.ajo.2013.07.014

Annexe 1 : analyse de la nouvelle formule

Elaboration d'une formule prédisant l'élongation oculaire chez les enfants avec une cataracte congénitale

Tout d'abord, il faut établir comme hypothèse principale qu'un œil pseudophake grandit à la même vitesse qu'un œil normal¹. La croissance moyenne d'un œil normal est actuellement décrite par le modèle de régression logarithmique publié par Bach et ses associés en 2019 qui stipule que la longueur axiale moyenne (Bt) à un instant t est donnée en fonction de l'âge (At) par l'équation² :

- **$Bt = 0,966 \times \log_e(At) + 18,270$**

Cette équation a été établie après avoir étudié 330 longueurs axiales de 165 enfants âgés de 3 mois à 7 ans sans pathologie oculaire.

Il faut ajouter que chaque sujet a une longueur axiale unique, principalement déterminée par la génétique. On s'attend donc à ce que chaque œil (i) ait une longueur axiale (Lit) différente de celle (Bit) calculée par la formule de Bach. Cette différence (Dit) s'exprime comme suit :

- **$Dit = Bit - Lit = (0,966 \times \log_e(At) + 18,270) - Lit$**

Nous verrons ci-dessous que cette différence (Dit) ne change pas significativement avec l'âge.

Une paire de longueurs axiales Li0 et Li1 correspondant au même œil à 2 âges différents a été mesurée sur un échantillon de 15 yeux. Bi0 et Bi1 sont les longueurs axiales respectives calculées avec la formule de Bach appliquée à ces âges. Les différences correspondantes Di0 et Di1 entre les longueurs axiales Li0, Li1 mesurées ci-dessus et celles calculées par la formule de Bach, Bi0, Bi1, sont résumées dans le tableau annexe 1. Il faut tout d'abord noter que les 30 (2 x 15) mesures ont un écart compris entre -10,90% à +11,10% par rapport à la formule de Bach (tableau annexe 1).

Œil (i)	Première mesure (1)					Deuxième mesure (2)				
	LA mesurée	Age	LA Bach	Bi1-Li1	Ecart	LA mesurée	Age	LA Bach	Bi2-Li2	Ecart
	Li1 (mm)	Ai1 (ms)	Bi1 (mm)	Di1 (mm)	(%)	Li2 (mm)	Ai2 (ms)	Bi2 (mm)	Di2 (mm)	(%)
1*	20,37	56	22,6	1,79	8,8	20,56	92	22,64	2,08	10
2*	20,07	56	22,16	2,09	10,4	20,38	92	22,64	2,26	11,1 ‡
3*	20,68	30	21,56	0,88	4,2	21,94	70	22,37	0,43	2
4*	20,59	30	21,56	0,97	4,7	21,82	70	22,37	0,55	2,5
5*	23,91	68	22,35	-1,56	-6,5	24,15	83	22,54	-1,61	-6,7
6*	21,31	60	22,23	0,92	4,3	22,53	156	23,15	0,62	2,7
7*	20,44	44	21,93	1,49	7,3	21,4	114	22,85	1,45	6,8
8	23,69	40	21,83	-1,86	-7,8	24,13	89	22,61	-1,52	-6,3
9	20,35	36	21,73	1,38	6,8	21,98	92	22,64	0,66	3
10	24,11	28	21,49	-2,62	-10,9 †	25,09	69	22,36	-2,73	10,9
11	20,7	71	22,39	1,69	8,2	21,28	82	22,53	1,25	5,9
12	23,8	74	22,43	-1,37	-5,8	24	83	22,54	-1,46	-6,1
13	21,23	80	22,50	1,27	6	21,83	95	22,67	0,84	3,8
14	22,16	31	21,59	-0,57	-2,6	23,09	99	22,71	-0,38	-1,7
15	21,45	47	21,99	0,54	2,5	22,64	75	22,44	-0,20	-0,9

LA = longueur axiale, ms = mois, mm = millimètres

* Mesures réalisées avec l'interférométrie

† Ecart maximal négatif

‡ Ecart maximal positif

Ensuite, si nous considérons un œil spécifique (i), notre objectif est de déduire la différence D_{it} à tout moment en connaissant la différence initiale D_{i0} entre la longueur axiale mesurée et celle calculée par la formule de Bach au temps 0. En d'autres termes, nous visons à estimer avec une meilleure précision la longueur axiale (L_{it}) à tout moment, sur la base de la formule de Bach modifiée par un facteur qui caractérise chaque œil.

La figure 1 montre la distribution des couples (D_{i0} ; D_{i1}) correspondant aux 15 yeux (i) inclus dans notre base de données. D_{i0} est la différence entre la longueur axiale mesurée et la longueur moyenne calculée par la formule de Bach au temps 0 et est représentée sur l'axe des abscisses. D_{i1} est la même différence mais au temps 1 et est représentée sur l'axe des ordonnées.

- La ligne orange montre la régression linéaire obtenue avec tous les yeux de la base de données et son équation est **$D_{i1} = 0,88 * D_{i0}$ avec $r^2 = 0,93$.**
- La ligne jaune montre la régression linéaire obtenue uniquement avec les mesures d'interférométrie. Son équation est **$D_{i1} = 0,97 * D_{i0}$ avec $r^2 = 0,96$.**

La valeur r^2 indique dans quelle mesure l'équation s'adapte aux données réelles.

La deuxième formule devrait être meilleure puisque les mesures obtenues par interférométrie sont plus précises. On peut donc conclure sans affecter la précision attendue des résultats que cette formule peut être arrondie à :

- **$D_{i1} = D_{i0}$.**

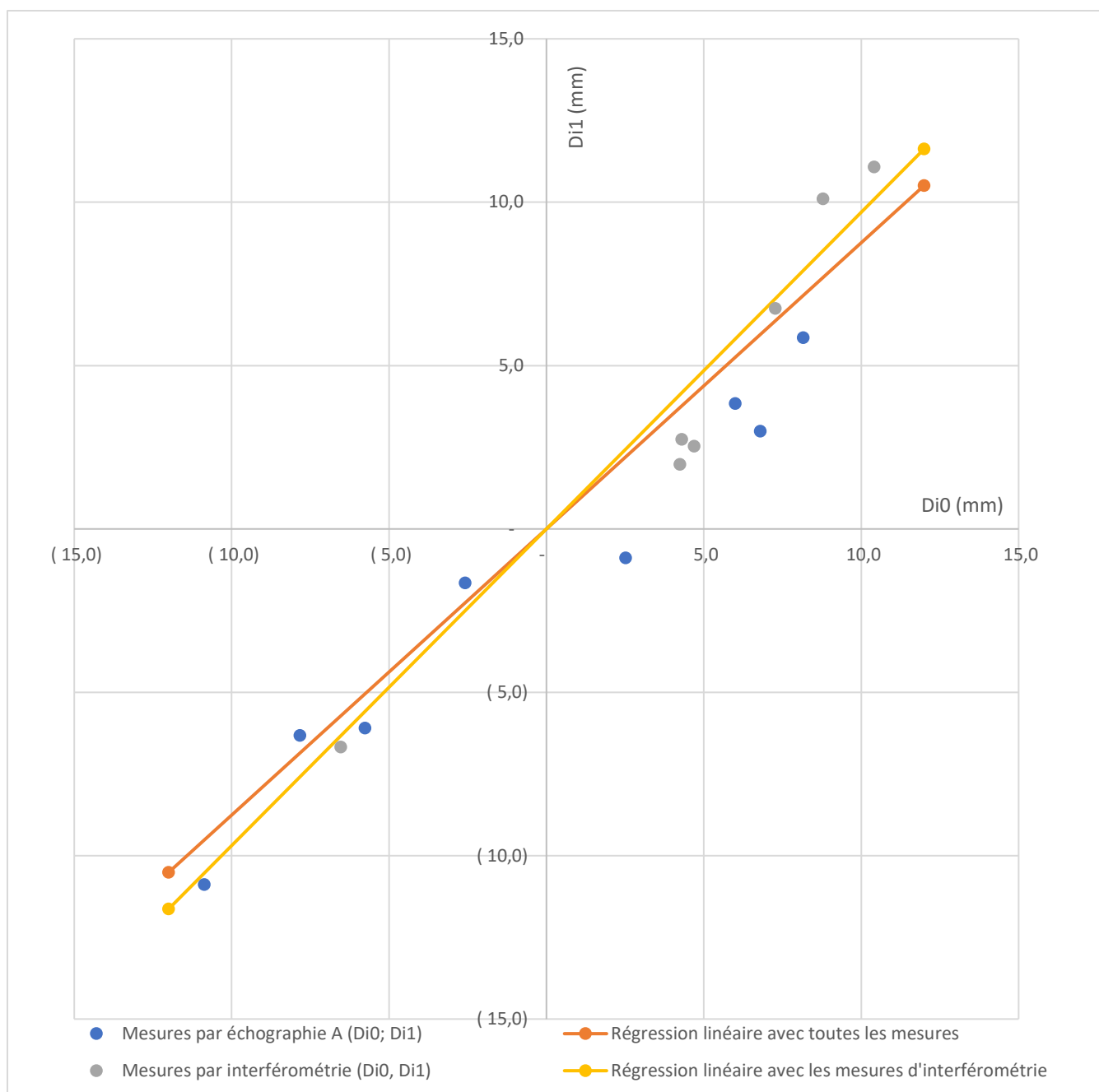


Figure annexe 1. Relation entre les différences de longueur axiale mesurées et calculées par Bach à un instant t1 (Di1) et un instant t2 (Di2).

Par conséquent, la formule Bach calibrée à un œil spécifique peut être exprimée comme suit :

- **$\text{ModBit} = \text{Di0} + (0,966 \times \log_e(\text{Ait}) + 18,270)$.**

Validation et conditions d'utilisation de la nouvelle formule

Les différences entre les 15 secondes mesures de longueurs axiales et celles calculées avec la nouvelle formule de Bach modulée vont s'étendre de -3,3% à 1,4% (Tableau annexe 2). Cet écart est bien meilleur que les -10,90 % à 11,10 % cités ci-dessus lorsque la formule de Bach originale était appliquée.

Tableau annexe 2. Comparaison entre les longueurs axiales mesurées sur 15 yeux à 2 âges différents et les longueurs axiales calculées avec la formule Bach modulée pour le même âge

Œil (i)	Première mesure (1)					Deuxième mesure (2)				
	LA mesurée	Age	LA Bach	Bi1-Li1	Ecart	LA mesurée	Age	LA modulée Bach	ModBi2 -Li2	Ecart
	Li1 (mm)	Ai1 (ms)	Bi1 (mm)	Di1 (mm)	(%)	Li2 (mm)	Ai2 (ms)	ModBi2 (mm)	Di2 (mm)	(%)
1*	20,37	56	22,16	1,79	8,8	20,56	92	20,85	0,29	1,4‡
2*	20,07	56	22,16	2,09	10,4	20,38	92	20,55	0,17	0,8
3*	20,68	30	21,56	0,88	4,2	21,94	70	21,50	-0,44	-2
4*	20,59	30	21,56	0,97	4,7	21,82	70	21,41	-0,41	-1,9
5*	23,91	68	22,35	-1,56	-6,5	24,15	83	24,10	-0,05	-0,2
6*	21,31	60	22,23	0,92	4,3	22,53	156	22,23	-0,30	-1,3
7*	20,44	44	21,93	1,49	7,3	21,4	114	21,36	-0,04	-0,2
8	23,69	40	21,83	-1,86	-7,8	24,13	89	24,46	0,33	1,4
9	20,35	36	21,73	1,38	6,8	21,98	92	21,26	-0,72	-3,3
10	24,11	28	21,49	-2,62	-10,9	25,09	69	24,98	-0,11	-0,4
11	20,7	71	22,39	1,69	8,2	21,28	82	20,84	-0,44	-2,1
12	23,8	74	22,43	-1,37	-5,8	24	83	23,91	-0,09	-0,4
13	21,23	80	22,50	1,27	6	21,83	95	21,40	-0,43	-2
14	22,16	31	21,59	-0,57	-2,6	23,09	99	23,28	0,19	0,8
15	21,45	47	21,99	0,54	2,5	22,64	75	21,90	-0,74	-3,3†

LA = longueur axiale, ms = mois, mm = millimètres

* Mesures réalisées avec l'interférométrie

† Ecart maximal négatif

‡ Ecart maximal positif

Il faut mentionner que parmi les 30 mesures, les premières mesures ont été réalisées chez des enfants âgées de 28 à 80 mois et les secondes sur des enfants âgés de 69 à 156 mois. Le résultat de notre formule est donc valable dans cette tranche d'âge (28 à 156 mois). Dans notre étude, nous allons extrapoler cette formule à une gamme légèrement plus large (24 et 162 mois).

Application de la nouvelle formule pour calculer la puissance de l'implant

Une fois que nous avons calibré la formule de Bach avec l'âge et la longueur axiale initiale (ModBi2), nous pouvons prédire avec une meilleure précision la longueur axiale (Lt1) à 15 ans.

Puis, la croissance oculaire résultante entre l'âge de l'implantation et l'âge de 15 ans est convertie en dioptries avec une autre formule³ :

- $dV0 = n' \times (dL' / -L'^2)$, dV0 étant le changement réfractif en dioptries, n' l'indice de réfraction du vitré, dL' la croissance oculaire en mètres, et L' la longueur axiale initiale en mètres.

Enfin, nous allons sélectionner la puissance de l'implant dont la réfraction cible est un cran plus hypermétrope que le changement réfractif prédit par nos calculs. En effet, il existe très fréquemment une erreur de prédiction réfractive post-opératoire sur le versant myope chez l'enfant. Donc, choisir une cible plus hypermétrope que prévu pourrait permettre de compenser cette erreur.

Application de la formule pour prédire les résultats à l'âge de 15 ans

Cette formule a également été utilisée pour prédire le changement réfractif entre le dernier suivi et 15 ans et donc pour prédire l'erreur réfractive à 15 ans avec l'ancienne méthode, la nouvelle, celle de Dahan et celle de Enyedi :

- $dV(\text{dernier suivi}-15 \text{ ans}) = n' \times (\text{ModBi}(15) - \text{ModBi}(\text{dernier suivi}) / -(\text{ModBi} \text{ dernier suivi})^2$
- Erreur réfractive prédite à 15 ans = erreur réfractive au dernier suivi - $dV(\text{dernier suivi}-15 \text{ ans})$

Pour prédire l'erreur réfractive à 15 ans avec la formule de Trivedi, nous avons calculé la croissance oculaire avec leur formule⁴ :

- **Longueur axiale finale = $1,93 + 0,91 \times (\text{LA préopératoire}) - 0,07 \times (\text{âge d'implantation}) + 0,14 \times (\text{âge final}) - 0,005 \times (\text{âge d'implantation}) \times (\text{âge final})$**

En effet, l'inclinaison entre la formule de Bach modulée (ModBit) et l'équation de Trivedi n'est pas la même (figure annexe 2) :

- **Croissance oculaire entre le dernier suivi et 15 ans (selon Trivedi) = $(1,93 + 0,91 \times (\text{AL préopératoire}) - 0,07 \times (\text{âge d'implantation}) + 0,14 \times 15 - 0,005 \times (\text{âge d'implantation}) \times 15) - (1,93 + 0,91 \times (\text{AL préopératoire}) - 0,07 \times (\text{âge d'implantation}) + 0,14 \times (\text{âge du dernier suivi}) - 0,005 \times (\text{âge d'implantation}) \times (\text{âge du dernier suivi}))$**

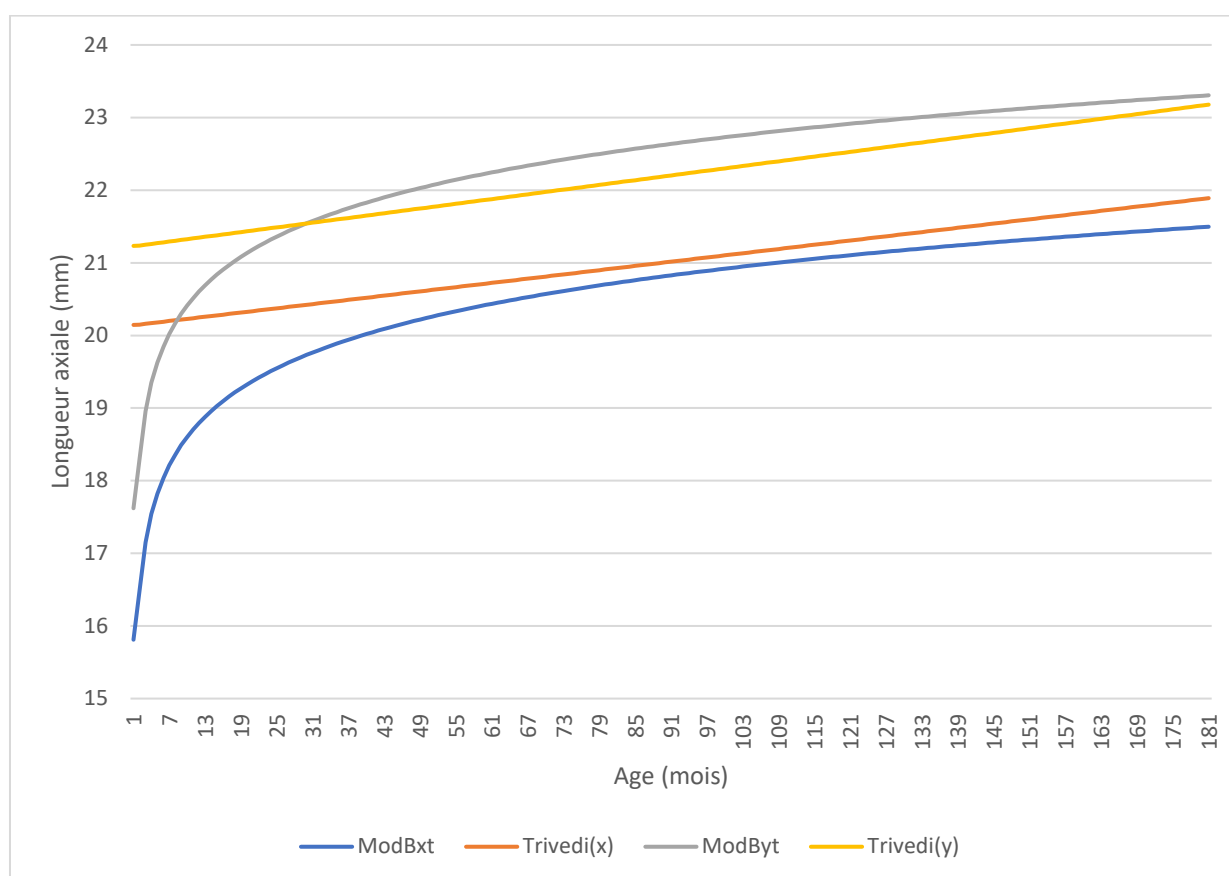


Figure annexe 2. Comparaison entre la formule de Bach modulée (ModBit) et la formule de Trivedi pour un même œil « x » ou « y »

Références

1. Wilson ME, Trivedi RH, Weakley DR, Cotsonis GA, Lambert SR. Globe Axial Length Growth at Age 5 Years in the Infant Aphakia Treatment Study. *Ophthalmology*. 2017;124(5):730-733. doi:10.1016/j.opthta.2017.01.010
2. Bach A, Villegas VM, Gold AS, Shi W, Murray TG. Axial length development in children. *Int J Ophthalmol*. 2019;12(5):815-819. doi:10.18240/ijo.2019.05.18
3. Gatinel Damien. Myopie: réfraction et longueur axiale. Accessed August 16, 2021. <https://www.gatinel.com/recherche-formation/myopie-definition-mecanismes-epidemiologie-facteurs-de-risques/myopie-et-longueur-axiale/>
4. Trivedi RH, Barnwell E, Wolf B, Wilson ME. A Model to Predict Postoperative Axial Length in Children Undergoing Bilateral Cataract Surgery With Primary Intraocular Lens Implantation. *Am J Ophthalmol*. 2019;206:228-234. doi:10.1016/j.ajo.2019.04.018

Version en anglais

Abstract

Purpose

To suggest a new logarithmic formula to calculate the intraocular lens power in pediatric cataracts aiming for emmetropia at the age of 15 years and preventing high myopia in adulthood.

Setting

Ophthalmology department, University Hospital Center of Marseille, France

Design

Retrospective case series

Methods

Children under 15 years old receiving cataract surgery with intraocular lens implantation between 2005 and 2020 were included. Refraction and biometry were collected before implantation and at the last follow-up. Spherical equivalent under cycloplegia was calculated one month after surgery and at the last follow-up. Predicted refractive error with the new formula was estimated as the spherical equivalent minus the difference of target refractions between the old and the new formula in the biometry realized at the last-follow-up. Predicted refractive error with Dahan, Enyedi and Trivedi guidelines were also calculated and compared to the new formula.

Results

35 eyes of 26 children were analyzed. At the last follow-up, the median age was 8 years, and the median spherical equivalent was -1.75 D (IQR -3.69, -0.44). The median predicted refractive error was 1.09 D (IQR -1.38, 2.15) with the new formula, -1.37 D (IQR -3.75, 0.06) with Dahan formula, -0.30 D (IQR -1.85, 1.17) with Enyedi formula and 0.84 D (IQR -2.22, 1.81) with Trivedi formula.

Conclusions

The new formula has the most hyperopic median refractive error at the last follow-up, preventing the myopic shift left between 8 and 15 years old. Therefore, this new formula could help to prevent high myopia in pseudophakic children.

Introduction

The choice of intraocular lens (IOL) power is a determinant factor of the visual outcome for pediatric cataracts. The choice of IOL power in pediatric cataracts is more difficult than it is for adults for multiple reasons. First, the biometry measurements and the IOL power calculation formulas are less accurate in children. Second, the choice of target refraction needs to anticipate the ocular elongation. The strategy to determine the target refraction has changed over time. Before 1986, surgeons aimed for emmetropia at the time of surgery to facilitate treatment of amblyopia¹. However, children with IOL calculation aiming for emmetropia had a large myopic shift and frequently needed an IOL exchange. For this reason, in 1997 Dahan suggested the first guidelines of IOL power under correction. Dahan stated that under correcting eyes and leaving initial hypermetropia was not amblyogenic if the residual refractive error was corrected. Dahan recommended choosing 80% of the IOL power needed for emmetropia before 2 years old and 90% between 2 and 8 years old¹. In 1998, Enyedi supported the practice of under correcting children and presented more precise guidelines with different target refractions according to age of implantation: +6

diopters (D) if 1 year old, +5 D if 2 years old, +4 D if 3 years old, +3 D if 4 years old, +2 D if 5 years old, +1 D if 6 years old and -1 to -2 D if more than 8 years old². In the past 20 years, each practitioner has adjusted these guidelines according to his experience^{3 4}. However, there are still children with high myopia despite following under correction guidelines^{5 6}. In fact, these methods are based on the age of surgery and do not consider the initial axial length (AL) which is variable from one subject to another and depends mostly on genetics. Furthermore, most methods consider that children reach emmetropia at 8 years old. Yet, in 2018 a European study including more than 12 000 AL measurements between 6 and 45 years old found that AL increased with age until 15 years⁷. Consequently, it could be interesting to find a more accurate method to calculate the IOL power in congenital cataracts. In 2019, Trivedi and associates were the first to find a model predicting eye growth in children with bilateral congenital cataracts⁸. Their model was based on a linear equation whereas the ocular elongation is closer to a logarithmic equation⁹. For these reasons, we want to suggest a new formula based on a Napierian logarithm to calculate the IOL power according to age and axial length at implantation and to target emmetropia at 15 years. The aim of this study is to demonstrate that the refractive error predicted with the new formula is less myopic than the refractive error measured in children implanted between 2005 and 2020 in the Hospital Center University of Marseille. Secondly we will compare the refractive error predicted with the new formula and the refractive error predicted with Dahan, Enyedi and Trivedi methods.

Methods

Data collection

Data was collected from medical records of children who underwent cataract surgery with primary or secondary intraocular lens implantation in the University Hospital Center of Marseille between January 2005 and December 2020. This observational retrospective monocentric study respected the tenets of the Declaration of Helsinki and was authorized by the Institutional Review Board of the University Hospital Center of Marseille.

Children with unilateral or bilateral congenital cataract implanted before the age of 15 years were included. The following characteristics were collected: age at diagnosis, type of cataract, presence of other diseases, keratometry and AL before implantation, technique of biometry, lens power, target refraction, amount of under correction, lens power calculation formula, age at lens extraction, age at implantation, implant position, complications, visual acuity and refraction one month after implantation, and visual acuity, refraction, keratometry and AL at the last follow-up. The criteria of exclusion were the lack of data, the presence of glaucoma and the follow-up less than one year.

Lens power calculation

Biometry in cooperating children was realized with partial coherence interferometry (Lenstar 900, Haag-Streit Diagnostics, Switzerland). Newborns, infants, and non-cooperating children needed examination under general anesthesia. During this examination, keratometry was measured with handheld auto refractometer (Retinomax 5, Righton, Japan) and AL was determined with applanation ultrasound (Compact Touch, Quantel Medical, France).

Between 2005 and 2020, the under correction IOL power strategy in the University Hospital of Marseille was: 60% of the SRKT between 0 and 3 months, 65% between 3 and 6 months, 70% between 6 and 12 months, 75% between 12 and 18 months, 80% between 18 and 24 months, 85% between 24 and 36 months, 90% between 36 and 60 months and 100% over 60 months. However, children were mainly implanted after 18 months to avoid errors due to the high variation of AL before this age.

In 2020, a new strategy was proposed in the department. This strategy was based on a logarithmic regression model predicting normal eye growth and published by Bach in 2019:⁹

- **“AL = 0.966 x log_e(age) + 18.270”**

The AL measured by interferometry or ultrasound before implantation was compared to the AL predicted by Bach at the same age. The difference (Dt) between the calculated AL and the measured AL was added to the logarithmic formula to create a calibrated formula:

- **“Calibrated AL = Dt + (0.966 x log_e(age) + 18.270)”**

The AL at 15 years old and thus the myopic shift between implantation and 15 years was predicted with this calibrated formula. This myopic shift was converted into diopters and served as target refraction at the time of implantation. In fact, the IOL power whose target refraction was above the predicted myopic shift in diopters was chosen. Details of the analysis of the new formula can be found in the Supplemental Data 1.

Surgical technique

The cataract surgery was performed by the same surgeon. The surgeon realizes the main incision in the temporal cornea and performs continuous-tear curvilinear anterior capsulorhexis followed by aspiration of the lens, posterior capsulotomy, anterior vitrectomy, and insertion of the IOL in the capsular bag or the sulcus. In secondary implantations, IOL were inserted in the sulcus or fixated to the sclera. The incision was sutured with 10.0 nylon sutures. All children received acrylic hydrophobic lenses.

Visual rehabilitation

Visual acuity and refraction were assessed one month after lens extraction and every 6 months thereafter. Glasses were prescribed after the removal of suture one month after surgery. Bifocal glasses were prescribed after 2 years old. Glasses were changed if significant modification of refraction. Children with unilateral cataract had occlusion therapy during 80% of their waking hours. Children with bilateral cataracts had alternate occlusion adapted to the visual acuity.

Statistical analysis

The first stage was to calculate the refractive error one month after implantation and at the last follow-up:

- **“Postoperative refractive error = postoperative spherical equivalent – target refraction”**
- **“Refractive error at last follow-up = spherical equivalent at last follow-up – 0 diopters”.**

The second stage was to predict the refractive error with the new formula at the last-follow-up:

- **“Predicted refractive error with new formula = refractive error at last follow-up + (implanted IOL target refraction – new formula IOL target refraction)”.**

Predicted refractive error was also calculated with Dahan, Enyedi and Trivedi methods. These predictions were reasonable because two studies based on the cohort of Infant Aphakia Treatment Study (IATS) found that eye growth in pseudophakic children was not influenced by visual acuity, degree of amblyopia¹⁰, age of surgery, AL, keratometry or IOL power¹¹.

Finally, the refractive error at the last follow-up was compared to the refractive error predicted with the other formulas.

Accessorily, the refractive error and percentage of eyes reaching emmetropia at 15 years was predicted by estimating the myopic shift between the last follow-up and 15 years:

- **“Predicted refractive error at 15 years = refractive error at last follow-up + myopic shift between last-follow-up and 15 years in diopters”.**

Analysis of normality data distribution revealed a non-Gaussian distribution of refractive errors. Values were then expressed as median, interquartile (IQR) and range. Refractive errors and median errors between formulas were compared with the non-parametric Wilcoxon and Friedman tests. Percentage of eyes within ± 0.5 D, ± 1 D and ± 2 D were compared with Cochran's Q test. P-value inferior to 0.05 was considered statistically significant for all the tests. Statistical tests were performed using R software (R foundation, Boston, USA).

Results

Sixty eyes of 44 children operated between 2005 and 2020 were included. Fifteen eyes were excluded because lack of data, 6 because glaucoma and 4 because of a follow-up inferior to one year. Statistical analysis was realized in 35 eyes from 26 children. Nine children had both eyes included because the coefficient of correlation of myopic shift showed that eye growth between eyes of the same children was only partially correlated ($= 0.65$).

Characteristics of patients

Among the 35 eyes, 17 were right eyes and 14 were unilateral cataracts. The median age at diagnosis was 23 months (range 1-110). The median age of lens extraction was 28 months (range 1-116) and the median age of implantation was 51 months (range 24-116). In fact, 18 eyes had secondary implantations. Preoperative AL was measured with ultrasound in 17 eyes. Lens were placed in the capsular bag (20 eyes), in the sulcus (9 eyes) or were fixated to the sclera (6 eyes). The median age at the last follow-up was 95 months (range 46-162) and the median follow-up was 40 months (range 12-96) (Table 1).

Table 1. Characteristics of eyes before implantation and at the last follow-up.		
Characteristics	Lens implantation Median (IQR)	Last follow-up Median (IQR)
Age (months)	51 (36.5, 71.5)	95 (80.5, 117)
AL (mm)	21.31 (20.41, 23.25)	23.09 (21.63, 24.07)
Corneal astigmatism (D)	1.76 (1, 2.56)	2 (1.33, 3)
Average keratometry (D)	43.75 (42.5, 45.51)	43.72 (41.79, 45.32)

AL= axial length; D = diopter; IQR = interquartile range; mm = millimeters

Postoperative refractive error

The median postoperative spherical equivalent was -0.19 D. Median postoperative prediction error was -1.45 D (IQR -2.71, -0.36), median absolute prediction error was 1.62 D and only 31% of the absolute errors were within 1D.

The mean change in refractive error between the postoperative examination and the last follow-up was -2.04 ± 1.97 D.

Refractive errors at the last-follow-up

Median refractive error at the last follow-up was -1.75 D (IQR -3.69, -0.44). Median predicted refractive error at the last-follow-up was 1.09 D (IQR -1.38, 2.15) with the new formula, -1.37 D (IQR -3.75, 0.06) with the Dahan formula, -0.30 D (IQR -1.85, 1.17) with the Enyedi formula and 0.84 D (IQR -2.22, 1.81) with the Trivedi formula (Figure 1). The Friedman test revealed a statistically significant difference between all formulas ($p < 0.001$). The Wilcoxon test showed a significant difference between the new formula and the other formulas when compared separately (Table 2).

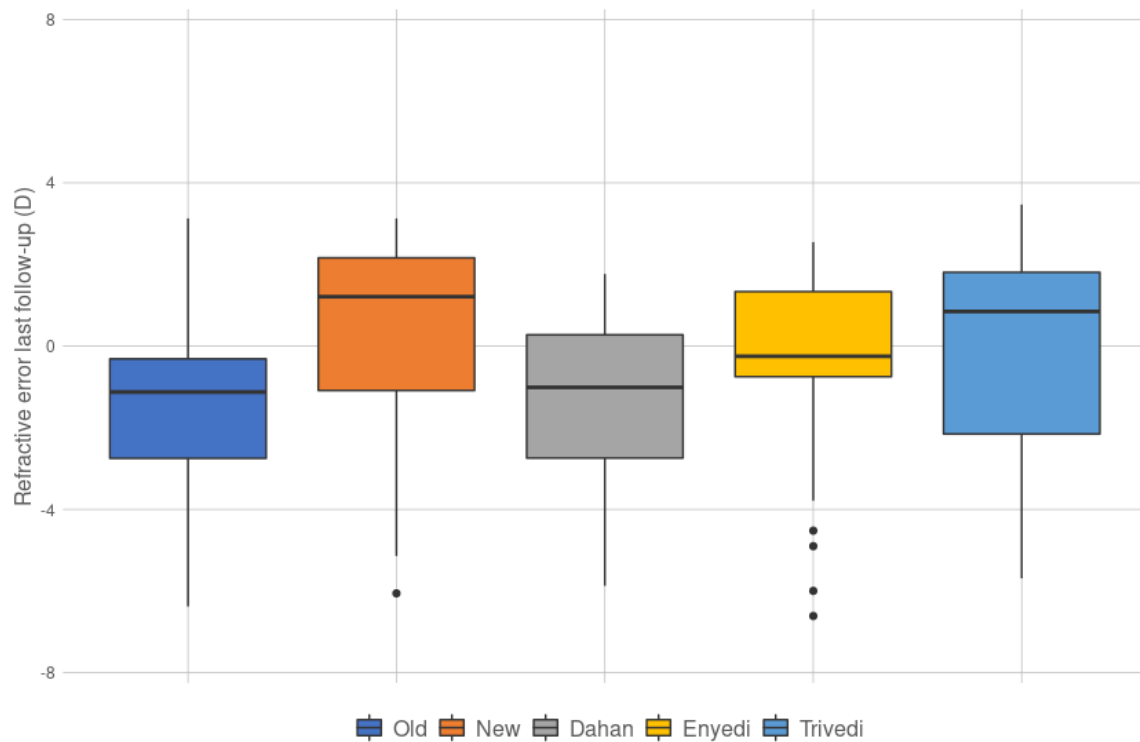


Figure 1. Refractive error distribution at the last-follow-up with the five formulas.

Formula	Power IOL (D)		Target refraction in preoperative biometry (D)		Refractive error at last follow-up (D)		Wilcoxon test
	Median	Range	Median	Range	Median	Range	p-value
New	21	8.5-31	3.84	0.78-5.94	1.09	-12.18-3.13	
Old	26	11-30	1.32	-0.23-5.33	-1.75	-14.63-3.12	<0.001
Dahan	25.5	10-34.5	1.68	0.28-2.54	-1.37	-13.72-1.77	<0.001
Enyedi	23	7-33.5	2.97	-1.2-5.14	-0.30	-12.48-2.55	<0.001
Trivedi	22.5	11-30.5	3.46	0.09-5.06	0.84	-12.46-3.46	0.03

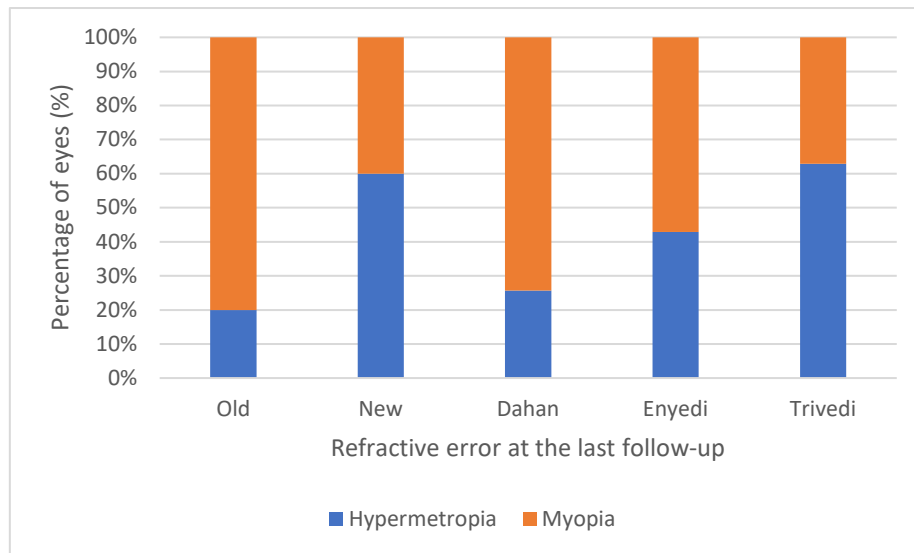


Figure 2. Distribution of myopic and hyperopic results among the five formulas at the last follow-up.

Predicted refractive errors at 15 years old

To foresee the results at 15 years old, refractive error with the five formulas was predicted after calculating the theoric myopic shift for each eye between the last follow-up and 15 years old. The percentage of eyes with a refractive error within ± 0.5 D at 15 years old would be 20% for the new and the Trivedi formula, 11% for the Enyedi and the Dahan formula and 3% with the old formula. Percentage of eyes within ± 0.5 D, ± 1 D, ± 2 D and > 2 D was statistically different between the 5 formulas (Figure 3). The predicted refractive error would be -2.90 D (IQR -5.49, -2.04) with the old formula, -0.67 D (IQR -2.76, 0.37) with the new formula, -2.45 D (IQR -5.36, -1.74) with the Dahan formula, -1.37 D (IQR -2.82, -0.85) with the Enyedi formula, and -1.66 D (IQR -3.90, -0.27) with the Trivedi formula.

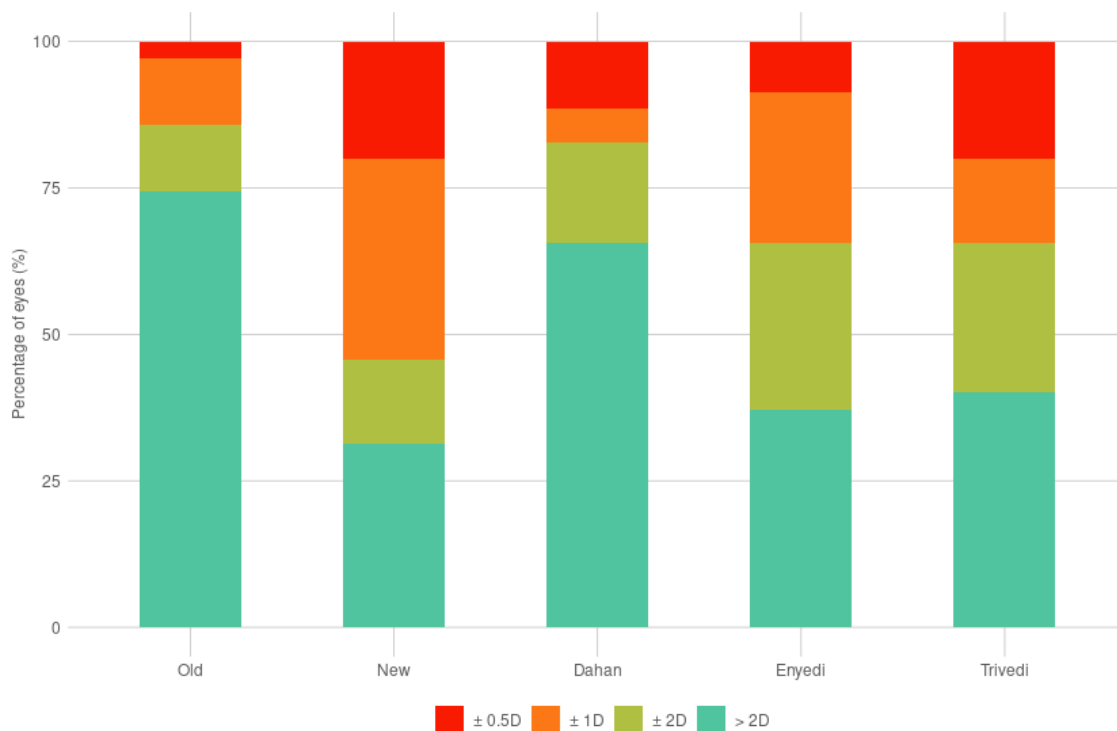


Figure 3. Accuracy of predicted refractive errors between the five formulas at 15 years old.

Discussion

There are few studies in the literature proposing strategies to calculate the IOL power in congenital cataracts. The Dahan and Enyedi guidelines are the most popular. Enyedi and associates empirically determined target refractions according to age, used the SRK II formula and evaluated refractive changes with age. In Enyedi's prospective study, the mean follow-up was inferior to 3 years. There is only one study in the literature validating the Enyedi guidelines at 7 years old¹². It is a retrospective study that analyzed 84 eyes. In this study, the mean change in refractive error was -1.97 D. At 7 years old, 8% of eyes achieved emmetropia, 45% were myopic and 46% were hypermetropic. The median absolute refractive error at 7 years old was 1.25 D (range -9.25 to 5) and subgroup analysis showed that refractive error was greater and more hypermetropic in children implanted before 2 years old. In our study, the mean change in refractive error was similar (-2.04 D) but the median predicted refractive error with the Enyedi formula was myopic (-0.30 D). This result can be explained because in our study there were no children implanted before 2 years of age and because the follow-up was greater than 7 years old. Furthermore, in our study at the last follow-up with the Enyedi formula 47% of eyes were hypermetropic and 53% were myopic, while with the new formula 60% of eyes were hypermetropic and 40% were myopic (Figure 2). The new formula had the most hyperopic median refractive error at the last follow-up (1.09 D). The median age at the last follow-up was 8 years old and the refractive change predicted with the Bach formula between 8 years and 15 years was around 1.60 D. For this reason, the median predicted refractive error with the new formula at 15 years was the less myopic (-0.67 D) among the 5 methods.

To our knowledge, this is the first study proposing a strategy based on a Napierian logarithm. Old guidelines are empiric tables suggesting target refractions only according to age of implantation^{1 2 3 4}. In 2018, Bach established a growth curve of the normal eye by studying 330 ocular axial lengths of 165 children between 3 months and 7 years old without intraocular pathology⁹. In his study, Bach compared different regression models to find the line of the best fit with a Napierian logarithm. This study was realized in normal eyes of children from Miami, thus before generalizing this formula to the children of Marseille with congenital cataracts, the Bach formula was compared to 30 measurements realized at 2 different times on 15 eyes included in our study. The difference (Dt) between Bach AL and measured AL was calculated. The deviation of the Bach formula from the measurements was between -10.9% to 11.1 % (supplemental table 1). After calibrating the Bach formula with the initial measured AL, the precision of the formula was ameliorated and ranged between -3.3% to +1.4% (supplemental table 2). The calibrated eye growth curve had an acceptable precision and could then be applied to all the cohort. This piece of data is consistent with multiple studies proving that pseudophakic eyes have the same growth as aphakic eyes and normal eyes¹⁰. In 2019, Trivedi and associates also had the idea to choose the IOL power by predicting the AL in adulthood⁸. They created a model based on AL measurement of children above 2 years old receiving bilateral cataract surgery with primary implantation. The Trivedi equation was linear and not logarithmic. In our study, the Trivedi formula had the second-best results after the new formula. Even if their linear equation did not follow the physiological logarithmic curve of the eye growth, it gave good results because their equation had almost the same inclination as ours around 15 years old (Supplemental Figure 2).

To our knowledge, this is also the first study proposing a strategy targeting emmetropia at 15 years. In fact, there are few studies analyzing the AL growth after the age of 7 years. In 1971, Larsen studied the AL from 1 852 normal eyes between 6 months and 13 years and found axial elongation until 13 years¹³. In 2007, Trivedi analyzed biometry data from pediatric cataractous eyes and found that mean AL was almost 1 mm longer in 10 to 18 years old children¹⁴. However, Trivedi did not find significant increase of AL after 15 years. In 2018, Tideman analyzed AL from 3 cohorts including normal subjects between 6 and 45 years old⁷. This strong study revealed that median AL increased 1.28 mm between 6 years and adulthood and

that AL increased with age until 15 years. Tideman also demonstrated that myopic children had more rapid eye growth than emmetropic and hyperopic eyes. For these reasons, targeting emmetropia at 15 years old will probably minimize high myopia in pseudophakic children at the adult stage. Weakley analyzed the myopic shift after IOL implantation in the IATS and found a mean refractive error of 2.94 D at 1 year and -2.53 D at 5 years¹¹. Furthermore, children with glaucoma were excluded from this analyze which means that myopic refractive error at 5 years was probably secondary to insufficient IOL under correction.

IOL power calculation in children is difficult because it needs to anticipate the ocular elongation and to handle a greater prediction refractive error¹⁵. Postoperative prediction error is larger in children because IOL power formulas are inaccurate in shorter eyes and because measurements of keratometry and AL are frequently erroneous. Enyedi had similar results to ours with 38% of postoperative refractive errors within 1D. The predictability of IOL power calculation formulas was analyzed in the IATS¹⁶. The median absolute prediction error was between 1.3 D with SRKT formula and 3.5 D with Haigis formula. In our study, the median absolute prediction error with SKRT formula was 1.6 D. Furthermore, the prediction refractive error was mostly myopic in the studies. So, choosing a more hyperopic target refraction than the one predicted with the new formula permitted to compensate for this error (Supplemental data 1).

This study has different limitations. First, it is a retrospective monocentric study with a small sample. Second, there were no children implanted before 2 years in the cohort, so the utilization of the new formula is not recommended before this age. Furthermore, the median age at the last follow-up was 8 years whereas the aim of the formula was to find emmetropia at the age of 15 years. A longer study will be necessary to validate the new formula. Third, corneal curvature changes were not considered in the new formula because the most important corneal flattening occurs in the first year of life. Finally, some data remains unknown. In fact, there is no study to our knowledge analyzing the influence of the lens position on the axial length or verifying if the effective lens position changes with age.

The old strategies to choose IOL power in congenital cataracts do not consider the initial axial length of the eye and target emmetropia before 15 years. This new strategy based on a Napierian logarithm predicting the eye growth and seeking for emmetropia at the age of 15 years could improve visual outcomes in pediatric cataracts. Subject to further studies, this new formula could help to reduce myopia in children with IOL implantation for congenital cataracts.

What Was Known

- The eye growth curve is close to a Napierian logarithm with the highest variation of AL occurring before 18 months and AL increasing with age until 15 years old
- IOL implantation in children needs to anticipate accurately the ocular elongation to avoid high myopia in adulthood
- Current strategies to calculate IOL power in congenital cataracts do not consider the initial axial length and target emmetropia before 15 years old

What This Paper Adds

- A new strategy to calculate the IOL power in congenital cataracts based on a Napierian logarithm permitting to predict the target refraction of the IOL according to age and axial length at implantation
- This new strategy targets emmetropia at 15 years old

References

1. Dahan E, Drusedau MU. Choice of lens and dioptric power in pediatric pseudophakia. *J Cataract Refract Surg*. 1997;23 Suppl 1:618-623. doi:10.1016/s0886-3350(97)80043-0
2. Enyedi LB, Peterseim MW, Freedman SF, Buckley EG. Refractive changes after pediatric intraocular lens implantation. *American Journal of Ophthalmology*. 1998;126(6):772-781. doi:10.1016/S0002-9394(98)00247-5
3. Plager DA, Kipfer H, Sprunger DT, Sondhi N, Neely DE. Refractive change in pediatric pseudophakia: 6-year follow-up. *J Cataract Refract Surg*. 2002;28(5):810-815. doi:10.1016/s0886-3350(01)01156-7
4. Trivedi RH, Wilson ME. Selecting Intraocular Lens Power in Children. American Academy of Ophthalmology. Published January 1, 2006. Accessed August 17, 2021. <https://www.aao.org/eyenet/article/selecting-intraocular-lens-power-in-children>
5. Lekskul A, Chuephanich P, Charoenkijakorn C. Long-term outcomes of intended undercorrection intraocular lens implantation in pediatric cataract. *Clin Ophthalmol*. 2018;12:1905-1911. doi:10.2147/OPTH.S176057
6. VanderVeen DK, Drews-Botsch CD, Nizam A, Bothun ED, Wilson LB, Wilson ME, Lambert SR, Infant Aphakia Treatment Study. Outcomes of secondary intraocular lens implantation in the Infant Aphakia Treatment Study. *J Cataract Refract Surg*. 2021;47(2):172-177. doi:10.1097/j.jcrs.0000000000000412
7. Tideman JWL, Polling JR, Vingerling JR, Jaddoe VWV, Williams C, Guggenheim JA, Klaver CCW. Axial length growth and the risk of developing myopia in European children. *Acta Ophthalmol*. 2018;96(3):301-309. doi:10.1111/aos.13603
8. Trivedi RH, Barnwell E, Wolf B, Wilson ME. A Model to Predict Postoperative Axial Length in Children Undergoing Bilateral Cataract Surgery With Primary Intraocular Lens Implantation. *Am J Ophthalmol*. 2019;206:228-234. doi:10.1016/j.ajo.2019.04.018
9. Bach A, Villegas VM, Gold AS, Shi W, Murray TG. Axial length development in children. *Int J Ophthalmol*. 2019;12(5):815-819. doi:10.18240/ijo.2019.05.18
10. Wilson ME, Trivedi RH, Weakley DR, Cotsonis GA, Lambert SR. Globe Axial Length Growth at Age 5 Years in the Infant Aphakia Treatment Study. *Ophthalmology*. 2017;124(5):730-733. doi:10.1016/j.ophtha.2017.01.010
11. Weakley DR, Lynn MJ, Dubois L, Cotsonis G, Wilson ME, Buckley EG, Plager DA, Lambert SR. Myopic shift 5 years after IOL implantation in the Infant Aphakia Treatment Study. *Ophthalmology*. 2017;124(6):822-827. doi:10.1016/j.ophtha.2016.12.040
12. Sachdeva V, Katukuri S, Kekunnaya R, Fernandes M, Ali MH. Validation of Guidelines for Undercorrection of Intraocular Lens Power in Children. *American Journal of Ophthalmology*. 2017;174:17-22. doi:10.1016/j.ajo.2016.10.017

13. Larsen JS. The sagittal growth of the eye. IV. Ultrasonic measurement of the axial length of the eye from birth to puberty. *Acta Ophthalmol (Copenh)*. 1971;49(6):873-886. doi:10.1111/j.1755-3768.1971.tb05939.x
14. Trivedi RH, Wilson ME. Biometry data from caucasian and african-american cataractous pediatric eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2007;48(10):4671-4678. doi:10.1167/iovs.07-0267
15. McClatchey SK. Choosing IOL Power in Pediatric Cataract Surgery. *International Ophthalmology Clinics*. 2010;50(4):115-123. doi:10.1097/IIO.0b013e3181f0f2e0
16. VanderVeen DK, Trivedi RH, Nizam A, Lynn MJ, Lambert SR. Predictability of Intraocular Lens Power Calculation Formulae in Infantile Eyes With Unilateral Congenital Cataract: Results from the Infant Aphakia Treatment Study. *American Journal of Ophthalmology*. 2013;156(6):1252-1260.e2. doi:10.1016/j.ajo.2013.07.014

Supplemental Data 1: new formula analysis

Elaboration of a formula predicting the ocular elongation in children with congenital cataracts

The preliminary hypothesis for elaborating the new formula is that an affected eye has the same axial length growth as a normal eye¹.

The average normal eye growth is presently described by the logarithmic regression model published by Bach and associates in 2019 which states that the average axial length (Bt) at time t is given according to the age (At) by the equation²:

- **$Bt = 0.966 \times \log_e(At) + 18.270$**

This equation was found after studying 330 ocular axial lengths of 165 children between 3 months and 7 years old without intraocular pathology.

It should be added that every subject has a particular and unique axial length which is mainly determined by genetics. Each eye (i) is therefore expected to have a different axial length (Lit) from the one (Bit) calculated by the Bach formula. This difference (Dit) is expressed as:

- **$Dit = Bit - Lit = (0.966 \times \log_e(At) + 18.270) - Lit$**

We will see here-under that this difference (Dit) does not change significantly with age.

A pair of axial lengths, Li0 and Li1, corresponding to the same eye at 2 different ages, was measured on 15 eyes. Bi0 and Bi1 were the respective axial lengths calculated with the Bach formula applied to these ages. The differences Di0 and Di1 between the measured axial lengths (Li0, Li1) and the ones calculated by the Bach formula (Bi0, Bi1) are summarized on the supplemental table 1. The 30 (2 x 15) measurements deviate from the general Bach formula from -10.90% to +11.10% (Supplemental table 1).

Supplemental table 1. Axial length measurements of 15 eyes at 2 different ages compared to Bach formula results.										
Eye (i)	First measurement at time 0					Second measurement at time 1				
	AL measured	Age	Bach AL	Bi0-Li0	Deviation	AL measured	Age	Bach AL	Bi1-Li1	Deviation
	Li0 (mm)	Ai0 (mts)	Bi0 (mm)	Di0 (mm)	(%)	Li1 (mm)	Ai1 (mts)	Bi1 (mm)	Di1 (mm)	(%)
1*	20.37	56	22.16	1.79	8.8	20.56	92	22.64	2.08	10
2*	20.07	56	22.16	2.09	10.4	20.38	92	22.64	2.26	11.1 ‡
3*	20.68	30	21.56	0.88	4.2	21.94	70	22.37	0.43	2
4*	20.59	30	21.56	0.97	4.7	21.82	70	22.37	0.55	2.5
5*	23.91	68	22.35	-1.56	-6.5	24.15	83	22.54	-1.61	-6.7
6*	21.31	60	22.23	0.92	4.3	22.53	156	23.15	0.62	2.7
7*	20.44	44	21.93	1.49	7.3	21.4	114	22.85	1.45	6.8
8	23.69	40	21.83	-1.86	-7.8	24.13	89	22.61	-1.52	-6.3
9	20.35	36	21.73	1.38	6.8	21.98	92	22.64	0.66	3
10	24.11	28	21.49	-2.62	-10.9 †	25.09	69	22.36	-2.73	10.9
11	20.7	71	22.39	1.69	8.2	21.28	82	22.53	1.25	5.9
12	23.8	74	22.43	-1.37	-5.8	24	83	22.54	-1.46	-6.1
13	21.23	80	22.50	1.27	6	21.83	95	22.67	0.84	3.8
14	22.16	31	21.59	-0.57	-2.6	23.09	99	22.71	-0.38	-1.7
15	21.45	47	21.99	0.54	2.5	22.64	75	22.44	-0.20	-0.9

AL = axial length, mts = months, mm = millimeters

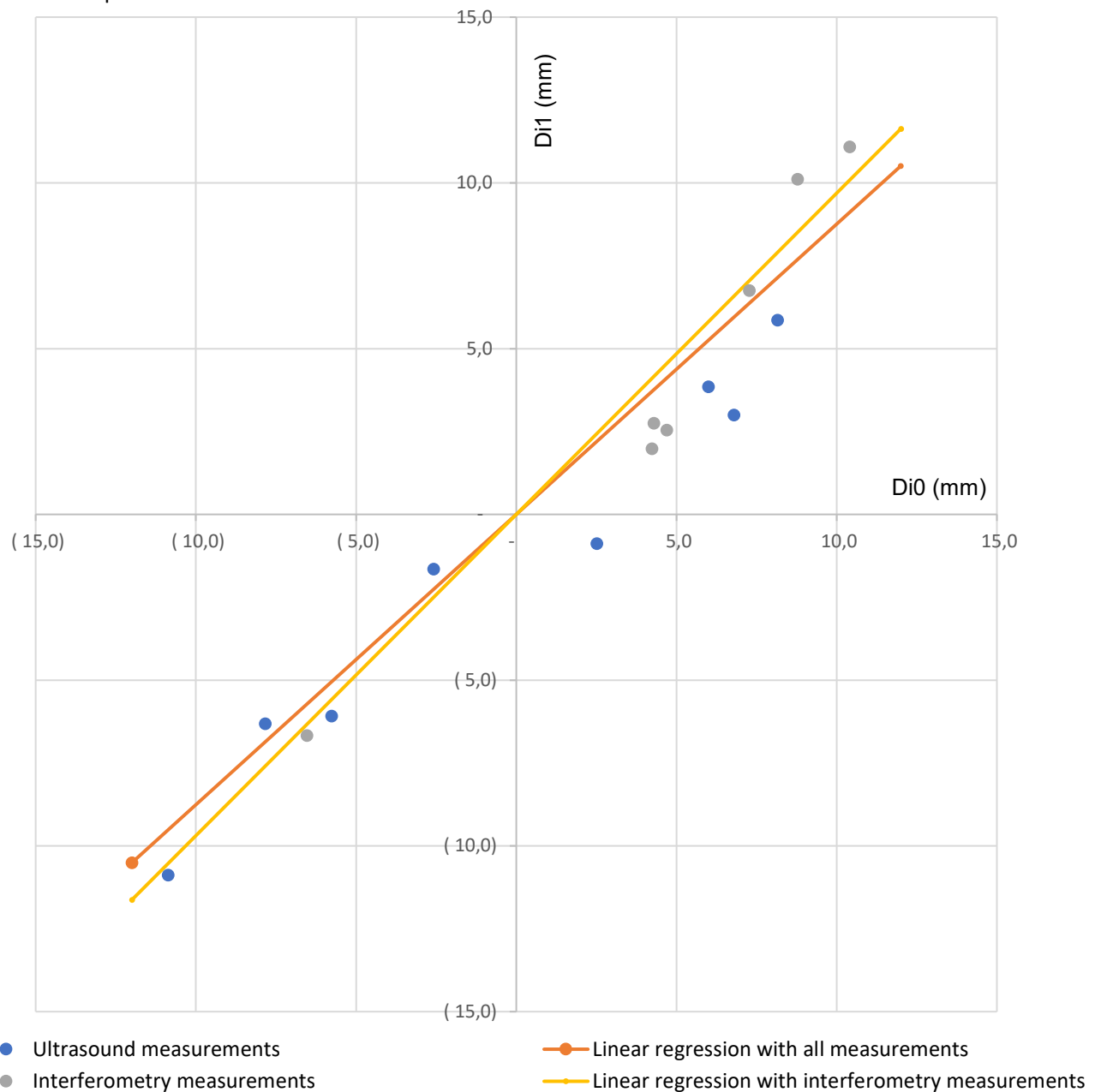
* Measurements realized with interferometry

† Maximum negative deviation

‡ Maximum positive deviation

Our purpose is to deduce the difference D_{it} at any time, by knowing the initial difference D_{i0} between the measured axial length and the calculated axial length with Bach formula at time 0. In other words, we aim to estimate with better precision the axial length (L_{it}) at any time, based on the Bach formula modified by a factor which characterizes each specific eye.

Supplemental figure 1 displays the distribution of the pair $(D_{i0}; D_{i1})$ corresponding to the 15 eyes (i) included in our database. D_{i0} is the difference between the measured axial length and the average one calculated with the Bach formula at time 0 and is plotted on the horizontal axis. D_{i1} is the same but at time 1 and is plotted on the vertical axis.



Supplemental figure 1: Relationship between the differences of axial length at time 0 (D_{t0}) and the differences of axial length at time 1 (D_{t1}).

- The orange line shows the simple linear regression obtained with all the eyes of the database. Its equation is **Di1 = 0.88*Di0 with r2= 0.93.**
- The yellow line shows the linear regression only obtained with the interferometry measurements. Its equation is **Di1 = 0.97*Di0 with r2 = 0.96.**

The **r2** value indicates how well the equation fits the real data.

Interferometry measurements are accurate and trustworthy so the second formula should be better.

Without affecting the expected precision of the results, this formula can be expressed as:

- **Di1 = Di0**

Therefore, the Bach formula can be calibrated as:

- **ModBi1 = Di0 + (0.966 x log_e(Ai1) + 18.270)**

Validation and conditions of use of the new formula

The differences between the 15 second measurements of axial length and the ones calculated with the new calibrated Bach formula range between -3.3% to 1.4% (supplemental table2). This deviation is far better than the -10.90% to 11.10% cited above when the original Bach formula was applied.

It should be mentioned that among the 30 measurements, the first measurements were done on children between 28 and 80 months and the second measurements on children between 69 and 156 months. The result of the calibrated formula is valid within this age range (28 to 156 months). In our study, we will extrapolate this formula to a slightly larger range (24 and 162 months).

Supplemental table 2. Axial length measurements of 15 eyes at 2 different ages compared to calibrated Bach formula results.

Eye (i)	First measurement at time 0					Second measurement at time 1				
	AL measured Li0 (mm)	Age Ai0 (mts)	Bach AL Bi0 (mm)	Bi0-Li0 Di0 (mm)	Deviation (%)	AL measured Li1 (mm)	Age Ai1 (mts)	Calibrated Bach AL ModBi1 (mm)	ModBi1- Li1 Di1 (mm)	Deviation (%)
1*	20.37	56	22.16	1.79	8.8	20.56	92	20.85	0.29	1.4‡
2*	20.07	56	22.16	2.09	10.4	20.38	92	20.55	0.17	0.8
3*	20.68	30	21.56	0.88	4.2	21.94	70	21.50	-0.44	-2
4*	20.59	30	21.56	0.97	4.7	21.82	70	21.41	-0.41	-1.9
5*	23.91	68	22.35	-1.56	-6.5	24.15	83	24.10	-0.05	-0.2
6*	21.31	60	22.23	0.92	4.3	22.53	156	22.23	-0.30	-1.3
7*	20.44	44	21.93	1.49	7.3	21.4	114	21.36	-0.04	-0.2
8	23.69	40	21.83	-1.86	-7.8	24.13	89	24.46	0.33	1.4
9	20.35	36	21.73	1.38	6.8	21.98	92	21.26	-0.72	-3.3
10	24.11	28	21.49	-2.62	-10.9	25.09	69	24.98	-0.11	-0.4
11	20.7	71	22.39	1.69	8.2	21.28	82	20.84	-0.44	-2.1
12	23.8	74	22.43	-1.37	-5.8	24	83	23.91	-0.09	-0.4
13	21.23	80	22.50	1.27	6	21.83	95	21.40	-0.43	-2
14	22.16	31	21.59	-0.57	-2.6	23.09	99	23.28	0.19	0.8
15	21.45	47	21.99	0.54	2.5	22.64	75	21.90	-0.74	-3.3†

AL = axial length, mts = months, mm = millimeters

* Measurements realized with interferometry

† Maximum negative deviation

‡ Maximum positive deviation

Application of the formula to calculate the IOL power

For a specific eye (i), once we calibrate the Bach formula with the initial axial length and age (ModBit), we can predict with a better precision the axial length (Lt1) at 15 years old. The resulting eye growth between the age of implantation and 15 years old is converted into diopters with another formula³:

- $dV = n' \times (dL' / -L'^2)$, being dV the myopic shift in diopters, n' the vitreous refractive-index, dL' the myopic shift in meters, and L' the preimplantation axial length in meters.

Finally, the IOL power whose target refraction was just above the predicted myopic shift in diopters was selected. Choosing a more hyperopic target refraction permits to compensate for the myopic postoperative prediction error.

Application of the formula to foresee the results at 15 years old

Elsewhere, this formula was also used to predict the myopic shift between the last follow-up and the 15 year old and thus to predict the refractive error at 15 years old with the 5 formulas:

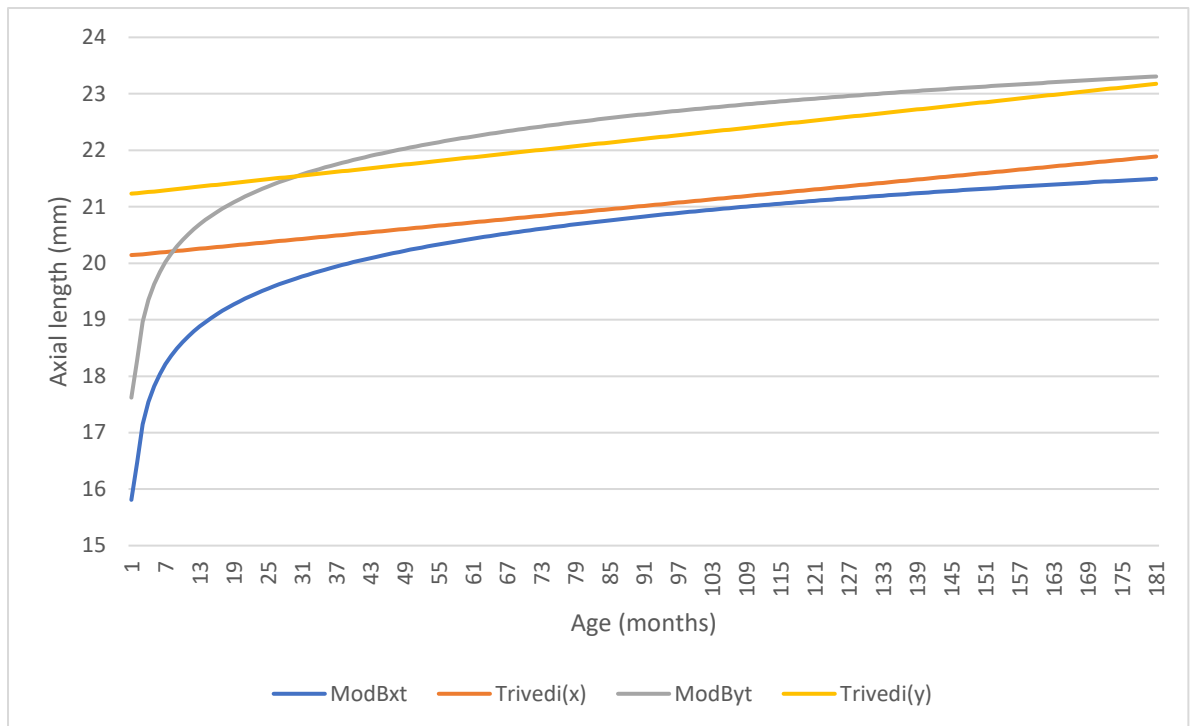
- $dV(\text{last follow-up-15 years}) = n' \times (\text{ModBi}(15) - \text{ModBi}(\text{last follow-up}) / -(\text{ModBi last follow-up})^2$
- **Predicted refractive error 15 years = refractive error at last follow-up – dV(last follow-up-15 years)**

To predict the refractive error at 15 years old with the Trivedi formula we calculated the myopic shift with their formula⁴:

- **Final AL = 1.93 + 0.91 x (baseline AL) – 0.07 x (baseline age) + 0.14 x (final age) – 0.005 x (baseline age) x (final age)**

In fact, the inclination between the calibrated Bach formula (ModBit) and the Trivedi equation is not the same (Supplemental Figure 2):

- **Myopic shift between last follow-up and 15 years (Trivedi) = (1,93 + 0,91 x (preoperative AL) -0,07 x (implantation age) + 0,14 x 15 - 0,005 x (implantation age) x 15) - (1,93 + 0,91 x (preoperative AL) -0,07 x (implantation age) + 0,14 x (last follow-up age) - 0,005 x (implantation age) x (last follow-up age))**



- Supplemental Figure 2. Comparison between the calibrated Bach formula and the Trivedi formula for the same eye “x” or “y”.

References

1. Wilson ME, Trivedi RH, Weakley DR, Cotsonis GA, Lambert SR. Globe Axial Length Growth at Age 5 Years in the Infant Aphakia Treatment Study. *Ophthalmology*. 2017;124(5):730-733. doi:10.1016/j.opthta.2017.01.010
2. Bach A, Villegas VM, Gold AS, Shi W, Murray TG. Axial length development in children. *Int J Ophthalmol*. 2019;12(5):815-819. doi:10.18240/ijo.2019.05.18
3. Gatinel Damien. Myopie: réfraction et longueur axiale. Accessed August 16, 2021. <https://www.gatinel.com/recherche-formation/myopie-definition-mecanismes-epidemiologie-facteurs-de-risques/myopie-et-longueur-axiale/>
4. Trivedi RH, Barnwell E, Wolf B, Wilson ME. A Model to Predict Postoperative Axial Length in Children Undergoing Bilateral Cataract Surgery With Primary Intraocular Lens Implantation. *Am J Ophthalmol*. 2019;206:228-234. doi:10.1016/j.ajo.2019.04.018

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

