Faculté des sciences médicales et paramédicales
Aix*Marseille Université

Syndrome Nasal Post-Chirurgical : de la physiopathologie à la chirurgie virtuelle.

T H È S E

Présentée et publiquement soutenue devant

LA FACULTÉ DES SCIENCES MEDICALES ET PARAMEDICALES

DE MARSEILLE

Le 5 Avril 2019

Par Madame Julie FERNANDEZ RODRIGUEZ

Née le 21 mars 1989 à Rognac (13)

Pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

D.E.S. d' OTO-RHINO-LARYNGOLOGIE ET CHIRURGIE CERVICO-FACIALE

Membres du Jury de la Thèse :

Monsieur le Professeur DESSI Patrick	**Président**
Monsieur le Professeur GIOVANNI Antoine	**Assesseur**
Monsieur le Professeur FAKHRY Nicolas	**Assesseur**
Monsieur le Professeur MICHEL Justin	**Co-Directeur**
Monsieur le Docteur RADULESCO Thomas	**Co-Directeur**

Faculté des sciences médicales et paramédicales
Aix*Marseille Université

Syndrome Nasal Post-Chirurgical : de la physiopathologie à la chirurgie virtuelle.

T H È S E

Présentée et publiquement soutenue devant

LA FACULTÉ DES SCIENCES MEDICALES ET PARAMEDICALES

DE MARSEILLE

Le 5 Avril 2019

Par Madame Julie FERNANDEZ RODRIGUEZ

Née le 21 mars 1989 à Rognac (13)

Pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

D.E.S. d' OTO-RHINO-LARYNGOLOGIE ET CHIRURGIE CERVICO-FACIALE

Membres du Jury de la Thèse :

Monsieur le Professeur DESSI Patrick	**Président**
Monsieur le Professeur GIOVANNI Antoine	**Assesseur**
Monsieur le Professeur FAKHRY Nicolas	**Assesseur**
Monsieur le Professeur MICHEL Justin	**Co-Directeur**
Monsieur le Docteur RADULESCO Thomas	**Co-Directeur**

AIX-MARSEILLE UNIVERSITE

Président : Yvon BERLAND

FACULTE DES SCIENCES MEDICALES ET PARAMEDICALES

Doyen Georges LEONETTI

Vice-doyen aux Affaires Générales et aux Sciences Médicales : Patrick DESSI
Vice-doyen aux Sciences Paramédicales : Philippe BERBIS

Direction d'école :

- **Ecole de Médecine :** Jean-Michel VITON
- **Ecoles de Maïeutique :** Carole ZAKARIAN
- **Ecoles des Sciences de la Réadaptation :** Philippe SAUVAGEON
- **Ecoles des Sciences Infirmières :** Sébastien COLSON

Assesseurs :

- aux Etudes : Kathia CHAUMOITRE
- à la Recherche : Jean-Louis MEGE
- aux Prospectives Hospitalo-Universitaires : Frédéric COLLART
- aux Enseignements Hospitaliers : Patrick VILLANI
- à l'Unité Mixte de Formation Continue en Santé : Fabrice BARLESI
- pour le Secteur Nord : Stéphane BERDAH
- aux centres hospitaliers non universitaires : Jean-Noël ARGENSON

Chargés de mission :

- 1er cycle : Jean-Marc DURAND et Marc BARTHET
- 2ème cycle : Marie-Aleth RICHARD
- 3eme cycle DES/DESC : Pierre-Edouard FOURNIER
- Licences-Masters-Doctorat : Pascal ADALIAN
- DU-DIU : Véronique VITTON
- Stages Hospitaliers : Franck THUNY
- Sciences Humaines et Sociales : Pierre LE COZ
- Préparation à l'ECN : Aurélie DAUMAS
- Démographie Médicale et Filiarisation : Roland SAMBUC
- Relations Internationales : Philippe PAROLA
- Etudiants : Arthur ESQUER

Chef des services généraux : Déborah ROCCHICCIOLI
Chefs de service :

- Communication : Laetitia DELOUIS
- Examens : Caroline MOUTTET
- Intérieur : Joëlle FAVREGA
- Maintenance : Philippe KOCK
- Scolarité : Christine GAUTHIER

DOYENS HONORAIRES

M. Yvon BERLAND
M. André ALI CHERIF
M. Jean-François PELLISSIER

Mis à jour 01/01/2019

PROFESSEURS HONORAIRES

MM AGOSTINI Serge
ALDIGHIERI 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
BERNARD Dominique
BERNARD Jean-Louis
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
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
CHARREL Michel
CHAUVEL Patrick
CHOUX Maurice
CIANFARANI François
CLEMENT Robert
COMBALBERT André
CONTE-DEVOLX Bernard
CORRIOL Jacques
COULANGE Christian
DALMAS Henri
DE MICO Philippe
DESSEIN Alain
DELARQUE Alain
DEVIN Robert
DEVRED Philippe
DJIANE Pierre
DONNET Vincent
DUCASSOU Jacques
DUFOUR Michel
DUMON Henri
ENJALBERT Alain

MM FAVRE Roger
FIECHI Marius
FARNARIER Georges
FIGARELLA Jacques
FONTES Michel
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 Roger
GIUDICELLI Sébastien
GOUDARD Alain
GOUIN François
GRILLO Jean-Marie
GRISOLI François
GROULIER Pierre
HADIDA/SAYAG Jacqueline
HASSOUN Jacques
HEIM Marc
HOUEL Jean
HUGUET Jean-François
JAQUET Philippe
JAMMES Yves
JOUVE Paulette
JUHAN Claude
JUIN Pierre
KAPHAN Gérard
KASBARIAN Michel
KLEISBAUER Jean-Pierre
LACHARD Jean
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
MICHOTEY Georges
MILLET Yves
MIRANDA François
MONFORT Gérard
MONGES André
MONGIN Maurice
MONTIES Jean-Raoul
NAZARIAN Serge
NICOLI René

MM 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
ROUX Michel
RUFO Marcel
SAHEL José
SALAMON Georges
SALDUCCI Jacques
SAN MARCO Jean-Louis
SANKALE Marc
SARACCO Jacques
SASTRE Bernard
SCHIANO Alain
SCOTTO Jean-Claude
SEBAHOUN Gérard
SERMENT Gérard
SERRATRICE Georges
SOULAYROL René
STAHL André
TAMALET Jacques
TARANGER-CHARPIN Colette
THOMASSIN Jean-Marc
UNAL Daniel
VAGUE Philippe
VAGUE/JUHAN Irène
VANUXEM Paul
VERVLOET Daniel
VIALETTES Bernard
WEILLER Pierre-Jean

PROFESSEURS 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 T. MARRIE (Canada)
Sir G.K. RADDA (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 EMERITE

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

PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

AGOSTINI FERRANDES Aubert
ALBANESE Jacques
ALIMI Yves
AMABILE Philippe
AMBROSI Pierre
ANDRE Nicolas
ARGENSON Jean-Noël
ASTOUL Philippe
ATTARIAN Shahram
AUDOUIN Bertrand
AUQUIER Pascal
AVIERINOS Jean-François
AZULAY Jean-Philippe
BAILLY Daniel
BARLESI Fabrice
BARLIER-SETTI Anne
BARTHET Marc
BARTOLI Christophe
BARTOLI Jean-Michel
BARTOLI Michel
BARTOLOMEI Fabrice
BASTIDE Cyrille
BENSOUSSAN Laurent
BERBIS Philippe
BERDAH Stéphane
BERLAND Yvon Surnombre
BERNARD Jean-Paul
BEROUD Christophe
BERTUCCI François
BLAISE Didier
BLIN Olivier
BLONDEL Benjamin
BONIN/GUILLAUME Sylvie
BONELLO Laurent
BONNET Jean-Louis
BOTTA/FRIDLUND Danielle Surnom
BOUBLI Léon
BOUFI Mourad
BOYER Laurent
BREGEON Fabienne
BRETELLE Florence
BROUQUI Philippe
BRUDER Nicolas
BRUE Thierry
BRUNET Philippe
BURTEY Stéphane
CARCOPINO-TUSOLI Xavier
CASANOVA Dominique
CASTINETTI Frédéric
CECCALDI Mathieu
CHAGNAUD Christophe
CHAMBOST Hervé
CHAMPSAUR Pierre
CHANEZ Pascal
CHARAFFE-JAUFFRET Emmanuelle
CHARREL Rémi
CHARPIN Denis Surnombre
CHAUMOITRE Kathia
CHIARONI Jacques
CHINOT Olivier
CHOSSEGROS Cyrille
CLAVERIE Jean-Michel Surnombre
COLLART Frédéric
COSTELLO Régis
COURBIERE Blandine
COWEN Didier
CRAVELLO Ludovic
CUISSET Thomas
CURVALE Georges
DA FONSECA David
DAHAN-ALCARAZ Laetitia
DANIEL Laurent
DARMON Patrice
D'ERCOLE Claude
D'JOURNO Xavier
DEHARO Jean-Claude
DELAPORTE Emmanuel
DELPERO Jean-Robert
DENIS Danièle
DISDIER Patrick
DODDOLI Christophe
DRANCOURT Michel
DUBUS Jean-Christophe
DUFFAUD Florence
DUFOUR Henry
DURAND Jean-Marc
DUSSOL Bertrand
EUSEBIO Alexandre
FAKHRY Nicolas
FAUGERE Gérard Surnombre
FELICIAN Olvier
FENOLLAR Florence
FIGARELLA/BRANGER Dominique
FLECHER Xavier
FOURNIER Pierre-Edouard
FRANCES Yves Surnombre
FRANCESCHI Frédéric
FUENTES Stéphane
GABERT Jean
GABORIT Bénédicte
GAINNIER Marc
GARCIA Stéphane
GARIBOLDI Vlad
GAUDART Jean
GAUDY-MARQUESTE Caroline
GENTILE Stéphanie
GERBEAUX Patrick
GEROLAMI/SANTANDREA René
GILBERT/ALESSI Marie-Christine
GIORGI Roch
GIOVANNI Antoine
GIRARD Nadine
GIRAUD/CHABROL Brigitte
GONCALVES Anthony
GORINCOUR Guillaume
GRANEL/REY Brigitte
GRANVAL Philippe
GREILLIER Laurent
GRIMAUD Jean-Charles
GROB Jean-Jacques
GUEDJ Eric
GUIEU Régis
GUIS Sandrine
GUYE Maxime
GUYOT Laurent
GUYS Jean-Michel
HABIB Gilbert
HARDWIGSEN Jean
HARLE Jean-Robert
HOFFART Louis Disponibilité
HOUVENAEGHEL Gilles
JACQUIER Alexis
JOURDE-CHICHE Noémie
JOUVE Jean-Luc
KAPLANSKI Gilles
KARSENTY Gilles
KERBAUL François
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
MATONTI Frédéric Disponibilité
MEGE Jean-Louis
MERROT Thierry
METZLER/GUILLEMAIN Catherine
MEYER/DUTOUR Anne
MICCALEF/ROLL Joëlle
MICHEL Fabrice
MICHEL Gérard
MICHEL Justin
MICHELET Pierre
MILH Mathieu
MOAL Valérie
MONCLA Anne
MORANGE Pierre-Emmanuel
MOULIN Guy
MOUTARDIER Vincent
MUNDLER Olivier Surnombre
NAUDIN Jean
NICOLAS DE LAMBALLERIE Xavier
NICOLLAS Richard
OLIVE Daniel
OUAFIK L'Houcine

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

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

PRAG

TANTI-HARDOUIN Nicolas

PROFESSEUR ASSOCIE DE MEDECINE GENERALE *A MI-TEMPS*

ADNOT Sébastien
FILIPPI Simon

MAITRE DE CONFERENCES DES UNIVERSITES - PRATICIEN HOSPITALIER

ACHARD Vincent (disponibilité)
AHERFI Sarah
ANGELAKIS Emmanouil (dispo oct 2018)
ATLAN Catherine (disponibilité)
BARTHELEMY Pierre
BEGE Thierry
BELIARD Sophie
BERBIS Julie
BERGE-LEFRANC Jean-Louis
BERTRAND Baptiste
BEYER-BERJOT Laura
BIRNBAUM David
BONINI Francesca
BOUCRAUT Joseph
BOULAMERY Audrey
BOULLU/CIOCCA Sandrine
BUFFAT Christophe
CAMILLERI Serge
CARRON Romain
CASSAGNE Carole
CHAUDET Hervé
CHRETIEN Anne-Sophie
COZE Carole
CUNY Thomas
DADOUN Frédéric (disponibilité)
DALES Jean-Philippe
DAUMAS Aurélie
DEGEORGES/VITTE Joëlle
DELLIAUX Stéphane
DESPLAT/JEGO Sophie
DEVILLIER Raynier
DUBOURG Grégory
DUFOUR Jean-Charles
EBBO Mikaël
FABRE Alexandre
FAURE Alice
FOLETTI Jean- Marc
FOUILLOUX Virginie
FROMONOT Julien
GASTALDI Marguerite
GELSI/BOYER Véronique
GIUSIANO Bernard
GIUSIANO COURCAMBECK Sophie
GONZALEZ Jean-Michel
GOURIET Frédérique
GRAILLON Thomas
GRISOLI Dominique
GUERIN Carole
GUENOUN MEYSSIGNAC Daphné
GUIDON Catherine
HAUTIER/KRAHN Aurélie
HRAIECH Sami
KASPI-PEZZOLI Elise
L'OLLIVIER Coralie
LABIT-BOUVIER Corinne
LAFAGE/POCHITALOFF-HUVALE Marina
LAGIER Aude (disponibilité)
LAGOUANELLE/SIMEONI Marie-Claude
LEVY/MOZZICONACCI Annie
LOOSVELD Marie
MANCINI Julien
MARY Charles
MASCAUX Céline
MAUES DE PAULA André
MILLION Matthieu
MOTTOLA GHIGO Giovanna
NGUYEN PHONG Karine
NINOVE Laetitia
NOUGAIREDE Antoine
OLLIVIER Matthieu
OVAERT Caroline
PAULMYER/LACROIX Odile
PESENTI Sébastien
RESSEGUIER Noémie
REY Marc
ROBERT Philippe
SABATIER Renaud
SARI-MINODIER Irène
SAVEANU Alexandru
SECQ Véronique
SUCHON Pierre
TABOURET Emeline
TOGA Caroline
TOGA Isabelle
TOMASINI Pascale
TOSELLO Barthélémy
TROUSSE Delphine
TUCHTAN-TORRENTS Lucile
VELY Frédéric
VION-DURY Jean
ZATTARA/CANNONI Hélène

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

(mono-appartenants)

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

MAITRE DE CONFERENCES DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE

CASANOVA Ludovic
GENTILE Gaëtan

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES DE MEDECINE GENERALE à MI-TEMPS

BARGIER Jacques
BONNET Pierre-André
CALVET-MONTREDON Céline
GUIDA Pierre
JANCZEWSKI Aurélie

MAITRE DE CONFERENCES ASSOCIE à MI-TEMPS

MATHIEU Marion
REVIS Joana

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

ANATOMIE *4201*

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

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

THOLLON Lionel (MCF) (60ème section)

ANATOMIE ET CYTOLOGIE PATHOLOGIQUES *4203*

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

DALES Jean-Philippe (MCU-PH)
GIUSIANO COURCAMBECK Sophie (MCU PH)
LABIT/BOUVIER Corinne (MCU-PH)
MAUES DE PAULA André (MCU-PH)
SECQ Véronique (MCU-PH)

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)

GUIDON Catherine (MCU-PH)

ANGLAIS *11*

BRANDENBURGER Chantal (PRCE)

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

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

BIOPHYSIQUE ET MEDECINE NUCLEAIRE *4301*

GUEDJ Eric (PU-PH)
GUYE Maxime (PU-PH)
MUNDLER Olivier (PU-PH) Surnombre
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*

CLAVERIE Jean-Michel (PU-PH) Surnombre
GAUDART Jean (PU-PH)
GIORGI Roch (PU-PH)

CHAUDET Hervé (MCU-PH)
DUFOUR Jean-Charles (MCU-PH)
GIUSIANO Bernard (MCU-PH)
MANCINI Julien (MCU-PH)

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

ANTHROPOLOGIE *20*

ADALIAN Pascal (PR)

DEGIOANNI/SALLE Anna (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)

AHERFI Sarah (MCU-PH)
ANGELAKIS Emmanouil (MCU-PH) disponibilité octobre 2018
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)
SAVEANU Alexandru (MCU-PH)

BIOLOGIE CELLULAIRE *4403*

ROLL Patrice (PU-PH)

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

CARDIOLOGIE *5102*

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

CHIRURGIE DIGESTIVE *5202*

BERDAH Stéphane (PU-PH)
HARDWIGSEN Jean (PU-PH)
SIELEZNEFF Igor (PU-PH)

BEYER-BERJOT Laura (MCU-PH)

CHIRURGIE GENERALE *5302*

DELPERO Jean-Robert (PU-PH)
MOUTARDIER Vincent (PU-PH)
SEBAG Frédéric (PU-PH)
TURRINI Olivier (PU-PH)

BEGE Thierry (MCU-PH)
BIRNBAUM David (MCU-PH)

CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE *5002*

ARGENSON Jean-Noël (PU-PH)
BLONDEL Benjamin (PU-PH)
CURVALE Georges (PU-PH)
FLECHER Xavier (PU PH)
PARRATTE Sébastien (PU-PH) Disponibilité
ROCHWERGER Richard (PU-PH)
TROPIANO Patrick (PU-PH)

OLLIVIER Matthieu (MCU-PH)

CANCEROLOGIE ; RADIOTHERAPIE *4702*

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

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

CHIRURGIE THORACIQUE ET CARDIOVASCULAIRE *5103*

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

FOUILLOUX Virginie (MCU-PH)
GRISOLI Dominique (MCU-PH)
TROUSSE Delphine (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)

HISTOLOGIE, EMBRYOLOGIE ET CYTOGENETIQUE *4202*

LEPIDI Hubert (PU-PH)

ACHARD Vincent (MCU-PH) disponibilité
PAULMYER/LACROIX Odile (MCU-PH)

DERMATOLOGIE - VENEREOLOGIE *5003*

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

DUSI

COLSON Sébastien (MCF)

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

BRUE Thierry (PU-PH)
CASTINETTI Frédéric (PU-PH)
CUNY Thomas (MCU PH)

EPIDEMIOLOGIE, ECONOMIE DE LA SANTE ET PREVENTION *4601*

AUQUIER Pascal (PU-PH)
BOYER Laurent (PU-PH)
GENTILE Stéphanie (PU-PH)
SAMBUC Roland (PU-PH) Surnombre
THIRION Xavier (PU-PH)

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

MINVIELLE/DEVICTOR Bénédicte (MCF)(06ème section)
TANTI-HARDOUIN Nicolas (PRAG)

GUERIN Carole (MCU PH)

CHIRURGIE INFANTILE *5402*

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

CHIRURGIE MAXILLO-FACIALE ET STOMATOLOGIE *5503*

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

FOLETTI Jean-Marc (MCU-PH)

CHIRURGIE PLASTIQUE, RECONSTRUCTRICE ET ESTHETIQUE ; BRÛLOLOGIE *5004*

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

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

GASTROENTEROLOGIE ; HEPATOLOGIE ; ADDICTOLOGIE *5201*

BARTHET Marc (PU-PH)
BERNARD Jean-Paul (PU-PH)
BOTTA-FRIDLUND Danielle (PU-PH) Surnombre
DAHAN-ALCARAZ Laetitia (PU-PH)
GEROLAMI-SANTANDREA René (PU-PH)
GRANDVAL Philippe (PU-PH)
GRIMAUD Jean-Charles (PU-PH)
SEITZ Jean-François (PU-PH)
VITTON Véronique (PU-PH)

GONZALEZ Jean-Michel (MCU-PH)

GENETIQUE *4704*

BEROUD Christophe (PU-PH)
KRAHN Martin (PU-PH)
LEVY Nicolas (PU-PH)
MONCLA Anne (PU-PH)
SARLES/PHILIP Nicole (PU-PH)

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

GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE ; GYNECOLOGIE MEDICALE *5403*

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

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)

BOUCAULT/GARROUSTE Françoise (MCF) 65ème section)

MALADIES INFECTIEUSES ; MALADIES TROPICALES *4503*

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

MILLION Matthieu (MCU-PH)

MEDECINE D'URGENCE *4805*

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

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

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

EBBO Mikael (MCU-PH)

GENTILE Gaëtan (MCF Méd. Gén. Temps plein)

ADNOT Sébastien (PR associé Méd. Gén. à mi-temps)
FILIPPI Simon (PR associé Méd. Gén. à mi-temps)

BARGIER Jacques (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)
BONNET Pierre-André (MCF associé Méd. Gén à mi-temps)
CALVET-MONTREDON Céline (MCF associé Méd. Gén. à temps plein)
GUIDA Pierre (MCF associé Méd. Gén. à mi-temps)
JANCZEWSKI Aurélie (MCF associé Méd. Gén. À mi-temps)

NUTRITION *4404*

DARMON Patrice (PU-PH)
RACCAH Denis (PU-PH)
VALERO René (PU-PH)

ATLAN Catherine (MCU-PH) disponibilité
BELIARD Sophie (MCU-PH)

MARANINCHI Marie (MCF) (66ème section)

ONCOLOGIE 65 (BIOLOGIE CELLULAIRE)

CHABANNON Christian (PR) (66ème section)
SOBOL Hagay (PR) (65ème section)

HEMATOLOGIE ; TRANSFUSION *4701*

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)

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/BENHAIM Caroline (MCF) (1ère section)

MEDECINE PHYSIQUE ET DE READAPTATION *4905*

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

MEDECINE ET SANTE AU TRAVAIL *4602*

LEHUCHER/MICHEL Marie-Pascale (PU-PH)

BERGE-LEFRANC Jean-Louis (MCU-PH)
SARI/MINODIER Irène (MCU-PH)

NEPHROLOGIE *5203*

BERLAND Yvon (PU-PH) Surnombre
BRUNET Philippe (PU-PH)
BURTEY Stépahne (PU-PH)
DUSSOL Bertrand (PU-PH)
JOURDE CHICHE Noémie (PU PH)
MOAL Valérie (PU-PH)

NEUROCHIRURGIE *4902*

DUFOUR Henry (PU-PH)
FUENTES Stéphane (PU-PH)
REGIS Jean (PU-PH)
ROCHE Pierre-Hugues (PU-PH)
SCAVARDA Didier (PU-PH)

CARRON Romain (MCU PH)
GRAILLON Thomas (MCU PH)

NEUROLOGIE *4901*

ATTARIAN Sharham (PU PH)
AUDOIN Bertrand (PU-PH)
AZULAY Jean-Philippe (PU-PH)
CECCALDI Mathieu (PU-PH)
EUSEBIO Alexandre (PU-PH)
FELICIAN Olivier (PU-PH)
PELLETIER Jean (PU-PH)

OPHTALMOLOGIE *5502*

DENIS Danièle (PU-PH)
HOFFART Louis (PU-PH) *Disponibilité*
MATONTI Frédéric (PU-PH) Disponibilité

OTO-RHINO-LARYNGOLOGIE *5501*

DESSI Patrick (PU-PH)
FAKHRY Nicolas (PU-PH)
GIOVANNI Antoine (PU-PH)
LAVIEILLE Jean-Pierre (PU-PH)
MICHEL Justin (PU-PH)
NICOLLAS Richard (PU-PH)
TRIGLIA Jean-Michel (PU-PH)
DEVEZE Arnaud (MCU-PH) Disponibilité
REVIS Joana (MAST) (Orthophonie) (7ème Section)

PARASITOLOGIE ET MYCOLOGIE *4502*

RANQUE Stéphane (PU-PH)

CASSAGNE Carole (MCU-PH)
L'OLLIVIER Coralie (MCU-PH)
MARY Charles (MCU-PH)
TOGA Isabelle (MCU-PH)

PEDIATRIE *5401*

ANDRE Nicolas (PU-PH)
CHAMBOST Hervé (PU-PH)
DUBUS Jean-Christophe (PU-PH)
GIRAUD/CHABROL Brigitte (PU-PH)
MICHEL Gérard (PU-PH)
MILH Mathieu (PU-PH)
REYNAUD Rachel (PU-PH)
SARLES Jacques (PU-PH)
TSIMARATOS Michel (PU-PH)

COZE Carole (MCU-PH)
FABRE Alexandre (MCU-PH)
OVAERT Caroline (MCU-PH)
TOSELLO Barthélémy (MCU-PH)

PSYCHIATRIE D'ADULTES ; ADDICTOLOGIE *4903*

BAILLY Daniel (PU-PH)
LANCON Christophe (PU-PH)
NAUDIN Jean (PU-PH)

PSYCHOLOGIE - PSYCHOLOGIE CLINIQUE, PCYCHOLOGIE SOCIALE 16

AGHABABIAN Valérie (PR)

RADIOLOGIE ET IMAGERIE MEDICALE *4302*

BARTOLI Jean-Michel (PU-PH)
CHAGNAUD Christophe (PU-PH)
CHAUMOITRE Kathia (PU-PH)
GIRARD Nadine (PU-PH)
GORINCOUR Guillaume (PU-PH)
JACQUIER Alexis (PU-PH)
MOULIN Guy (PU-PH)
PANUEL Michel (PU-PH)
PETIT Philippe (PU-PH)
VAROQUAUX Arthur Damien (PU-PH)
VIDAL Vincent (PU-PH)

REANIMATION MEDICALE ; MEDECINE URGENCE *4802*

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

HRAIECH Sami (MCU-PH)

RHUMATOLOGIE *5001*

GUIS Sandrine (PU-PH)
LAFFORGUE Pierre (PU-PH)
PHAM Thao (PU-PH)
ROUDIER Jean (PU-PH)

PEDOPSYCHIATRIE; ADDICTOLOGIE *4904*

DA FONSECA David (PU-PH)
POINSO François (PU-PH)

PHARMACOLOGIE FONDAMENTALE - PHARMACOLOGIE CLINIQUE; ADDICTOLOGIE *4803*

BLIN Olivier (PU-PH)
FAUGERE Gérard (PU-PH) Surnombre
MICALLEF/ROLL Joëlle (PU-PH)
SIMON Nicolas (PU-PH)
BOULAMERY Audrey (MCU-PH)

PHILOSPHIE *17*

LE COZ Pierre (PR) (17ème section)

MATHIEU Marion (MAST)

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)

BARTHELEMY Pierre (MCU-PH)
BONINI Francesca (MCU-PH)
BOULLU/CIOCCA Sandrine (MCU-PH)
DADOUN Frédéric (MCU-PH) (disponibilité)
DELLIAUX Stéphane (MCU-PH)
REY Marc (MCU-PH)

RUEL Jérôme (MCF) (69ème section)
THIRION Sylvie (MCF) (66ème section)

PNEUMOLOGIE; ADDICTOLOGIE *5101*

ASTOUL Philippe (PU-PH)
BARLESI Fabrice (PU-PH)
CHANEZ Pascal (PU-PH)
CHARPIN Denis (PU-PH) Surnombre
GREILLIER Laurent (PU PH)
REYNAUD/GAUBERT Martine (PU-PH)

MASCAUX Céline (MCU-PH)
TOMASINI Pascale (MCU-PH)

THERAPEUTIQUE; MEDECINE D'URGENCE; ADDICTOLOGIE *4804*

AMBROSI Pierre (PU-PH)
VILLANI Patrick (PU-PH)

DAUMAS Aurélie (MCU-PH)

UROLOGIE *5204*

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

REMERCIEMENTS

A mon jury de thèse

A Mr le Professeur Patrick Dessi

Cher maître,

Je vous remercie de l'honneur que vous me faites aujourd'hui de présider ce jury de thèse. Maître incontesté de la chirurgie rhino-sinusienne, vous m'avez permis de découvrir l'ORL dans votre service. Je suis honorée de pouvoir à présent vous remercier, tant pour vos qualités humaines que professionnelles et vos enseignements à la fois rigoureux et bienveillants. Grâce à votre capacité à transmettre votre immense expérience, je mesure aujourd'hui le chemin parcouru grâce à vous, et vous assure de ma profonde gratitude et de tout mon respect.

A Mr le Pr Antoine Giovanni

Cher maître,

Expert reconnu de tous dans votre discipline, vous lui faites honneur chaque jour en ayant à cœur de transmettre l'excellence de votre savoir-faire. J'ai eu la chance d'avoir pu profiter de votre formation et de votre grande culture. Je vous remercie pour votre disponibilité et votre bienveillance. Vous me faites l'honneur de juger ce travail, bien que le larynx n'y figure pas, je vous en remercie et vous exprime mon profond respect.

A Mr le Pr Nicolas Fakhry

Cher maître,

J'ai eu la chance d'évoluer et de progresser à vos côtés et je rends hommage à votre gentillesse et votre disponibilité. Vous mettez votre savoir et votre grande dextérité chirurgicale au service d'un enseignement de qualité, ce qui m'a permis de progresser en confiance à vos côtés. Je vous adresse mes remerciements sincères d'avoir accepté de juger ce travail.

A Mr le Pr Justin Michel

De mes premiers pas dans cette noble spécialité jusqu'à ce jour, j'ai eu la chance d'avoir pu bénéficier de ton enseignement, que tu dispenses sans compter, avec patience et bienveillance. Tes qualités chirurgicales hors-pair forcent le respect de tous, ainsi que l'étendue de tes connaissances, qui dépassent les frontières de la médecine. Pierre angulaire de ma formation, tu m'as fait l'honneur de diriger ce travail. Je te remercie pour ta grande disponibilité et ton soutien précieux.

A Mr le Docteur Thomas Radulesco

J'ai d'abord été ton externe, puis ta co-interne, et maintenant ton interne. Toujours disponible pour prodiguer des conseils avisés, tu es également un médecin et un chirurgien de grande qualité. Je suis très heureuse de pouvoir te remercier d'avoir accepté de co-diriger ce travail, et pour ton aide précieuse lors de son élaboration.

A mes maîtres dont j'ai eu l'honneur d'être l'interne

Dans l'ordre chronologique

A Mr le Professeur Frédéric Sebag

Je garde un excellent souvenir de mon premier semestre dans votre service. **J**e vous suis très reconnaissante pour tous les savoirs que vous m'avez transmis, pour votre bienveillance et votre patience.

A Mr le Professeur Jean-Marc Thomassin

Je salue votre polyvalence et votre précision chirurgicale. J'ai eu la chance de débuter mon internat à vos côtés et d'avoir pu bénéficier de votre enseignement, je vous en remercie.

A Mr le Professeur Jean-Michel Triglia

Mes trois semestres passés dans votre service m'ont permis d'apprécier votre habileté chirurgicale, votre implication auprès de vos patients, ainsi que votre investissement exemplaire dans l'enseignement. Croyez en mes sentiments respectueux.

A Mr le Professeur Richard Nicollas

Je vous ai déjà fait part de l'estime que je vous porte. Je vous remercie pour la confiance que vous m'avez accordée, elle m'est précieuse et je tâcherai d'en être digne. J'accorde un respect tout particulier à vos qualités humaines exceptionnelles, votre humilité et votre gentillesse, mises au service de votre grande compétence professionnelle. Soyez assuré de ma plus profonde gratitude.

A Mr le Pr Jean-Pierre Lavieille

Votre dextérité chirurgicale et votre goût pour l'enseignement, ainsi que votre accessibilité et votre bienveillance m'ont permis de découvrir l'otologie sous son meilleur jour. Je vous exprime ici tout mon respect.

A Mr le Pr Stéphane Roman

J'ai énormément apprécié mes six mois auprès de vous. Merci pour votre confiance et pour votre disponibilité.

A mes chefs, chefs de cliniques et assistants
Dans l'ordre chronologique

A mes premiers chefs, Cinzia, Claudio et Sérafino, puis Géraldine et Jean-François, pendant ces deux premiers semestres d'« égarement » hors ORL. Vous avez (presque) réussi à me faire apprécier la chirurgie viscérale, mais surtout vous m'avez guidé dans mes premiers pas d'interne, avec une bienveillance et une indulgence pour lesquelles je vous exprime ma reconnaissance.

Au Dr Martin Pénicaud, merci pour tes bons conseils, ta gentillesse et ta confiance, et les fous rires libérateurs de fin de journée.

A Michael Achache, merci pour ton humour (même si je ne te remercie pas pour le charmant surnom que tu m'as octroyé), et pour ta présence bienveillante lors de ma découverte de l'ORL.

Au Dr Aude Lagier, merci pour ta gentillesse et ta douceur, et pour toutes ces heures que tu as passées, lors de nos séances de révisions, à nous transmettre une partie de ton immense savoir en anatomie.

A l'équipe de Lavéran, merci pour ces six mois de bonheur dans votre équipe.

A Mathilde Bachelard-Serra, chef de clinique brillante et femme accomplie, tu représentes pour moi un modèle de réussite. Merci pour ton soutien et pour ton amitié.

Au Dr Renaud Meller, merci de ta grande gentillesse, ta bonne humeur et ta facilité à nous transmettre tes connaissances.

Au Dr Marion Montava, merci pour ton écoute et pour ton enseignement. Ta persévérance et ton investissement professionnel sont admirables.

Au Dr Claire Le Treut, deux super semestres avec toi, merci pour ta gentillesse et ta bienveillance. C'est avec toi que j'ai vécu les situations les plus improbables de mon internat, que tu as toujours gérées avec brio.

Au Dr Tantelly Razafimahefa. J'avoue, j'étais un peu terrorisée par la hiérarchie malgache au début de mon internat ! Mais au final, tu as été un assistant à l'écoute et bienveillant, merci pour ce super semestre.

Au Dr Laure Santini, super maman, incroyable médecin et chirurgien, toujours disponible pour tous, tu es un véritable modèle pour moi.

A Anthony Loth, d'abord mon co-interne puis mon CCA, merci de ce que tu m'as enseigné.

Au Dr Anne Farinetti, six moi au top avec toi, merci pour ta gentillesse, ta douceur et ta patience, et mention particulière pour notre session shopping impromptue.

A Eric Moreddu et Marie-Eva Rossi, merci pour votre gentillesse et votre écoute, et pour ce que vous m'avez appris.

A Florant Salburgo et Laurent Jaloux, à défaut d'avoir eu la chance d'être votre interne, j'ai toutefois pu vous côtoyer suffisamment pour apprécier votre gentillesse, votre disponibilité, et votre grande compétence.

Aux Dr Jean-Paul De Cuttoli, Marina Cihanek François Antonini et Pierre-Antoine Oddon. Merci pour ce super semestre avec vous. J'ai énormément appris à vos côtés, je vous remercie pour la confiance que vous m'avez accordée, et pour la bonne humeur et l'esprit d'équipe qui règnent dans votre service.

A Djamel Hazbri, mon premier co-interne en ORL et maintenant mon chef de clinique. Tu as su rester toi-même, drôle (oui, oui, je l'ai dit), à l'écoute, toujours disponible. Merci d'avoir partagé avec moi les compétences que tu as brillamment acquises en sinusologie.

A mes co-internes

Carole, tu le sais, tu es mon modèle de perfection. De séances de travail studieux à fous rires irrépressibles, en passant par quelques soirées mémorables, tu es devenue une vraie amie pour moi sur qui je peux toujours compter. Merci pour toutes nos discussions passionnées, où ton point de vue avisé m'a toujours été d'une grande aide.

Abdy, chirurgien des stars ! Ta gentillesse est sans égale. J'admire ta volonté sans faille et la bonne humeur que tu affiches en permanence. Merci d'avoir été là pour partager les bons et les mauvais moments.

Mélodie, tu es une personne incroyable, je suis ravie que ces six mois passés ensemble nous ai donné l'occasion de devenir amies.

A tous les internes marseillais que j'ai eu l'occasion de côtoyer de près ou de loin.
Laura, Pauline, Damien, Jade, Justine, Marie, Laura, Jacinthe, merci pour ces bons moments partagés lors de nos semestres passés ensemble.

Un merci tout particulier à mes merveilleuses co-internes de la dernière ligne droite ! Clémence, Cyrielle, et Alexia, merci pour votre soutien, merci d'avoir assuré pour me permettre de terminer ce travail. Trois co-internes en béton, drôles, sérieuses, et sur qui on peut compter, ensemble nous avons vécu et partagé tellement d'émotions, ce dernier semestre avec vous restera gravé dans ma mémoire.

Mention spéciale

Un grand merci à Mr Lionel Meister. Merci pour ton investissement dans ce projet, pour ta disponibilité, pour ta bonne humeur et ta gentillesse. Je suis plus que ravie que ce travail m'ait permis de faire ta connaissance.

Aux équipes paramédicales

Merci aux secrétaires et aux cadres que j'ai côtoyé au long de mon parcours.

Un immense merci aux infirmières et aux aides-soignant(e)s du 4ème A puis du 5ème est, et du 5ème nord. Votre bonne humeur, vos compétences solides sur lesquelles on peut compter, votre gentillesse et votre générosité ont éclairé tout mon internat. Un merci tout particulier à ma « maman » Céline, à Axelle, Jennifer, Vivi, Camille, et à Lionel, notre « Bosley ». Vous êtes au top, ne changez rien !

Merci à la dream team de l'hôpital d'Aix en Provence. Des qualités humaines inestimables et de grandes compétences, mises au service de soins de grande qualité.

Je remercie également les infirmières du bloc opératoire qui m'avez accueillie et guidée avec douceur et bienveillance, de mes premiers pas d'internes jusqu'à aujourd'hui.

Pour terminer, merci à Marie-Claire, la meilleure infirmière de consultation dont on puisse rêver, et surtout, maintenant, une amie plus que précieuse.

A ma famille et mes amis

A mes parents, qui m'ont soutenu tout au long du chemin. Je n'aurai jamais assez de mots pour vous dire à quel point je vous aime et je vous admire, mais vous le savez, j'en suis sûre.

A ma sœur, ma moitié. J'ai tellement de chance de t'avoir. Je ne sais comment te remercier pour ton amour et ton soutien inconditionnel. J'espère pouvoir te rendre un jour tout ce que tu m'as donné et me donnes encore.

A mes grands-parents, ma tante, Louise et Etienne, mon cocon familial qui a su me comprendre et me soutenir au quotidien.

A ma belle-famille, Marie-Jo, Floriane, Romain, Yannick, et Malika. Merci de m'avoir accueillie dans votre famille avec tant de gentillesse et de générosité. Votre aide et votre soutien ont été indispensables pour mener à bien ce projet.

A mes amies de toujours, Annabelle, Julie, Mylène, Astrid. Votre amitié m'est tellement précieuse. Tellement de bons moments passés ensemble, et toujours présentes quoi qu'il arrive. Merci.

A Cyrielle et Tony, vous êtes des amis en or, sur qui on peut compter.

A mon mari, mon roc, mon soutien sans faille. Tu m'as supporté lors de chaque étape, depuis la préparation de l'internat jusqu'à aujourd'hui. Merci pour ton amour et ton optimisme inconditionnel.

A mes enfants, Alexandre et Léo, mes trésors, mes rayons de soleil.

Table des matières

1. Introduction 4

1.1. Le Syndrome Nasal Post-Chirurgical 4

1.2. Intérêts de la simulation numérique des écoulements 5

1.3. Notre méthode de CFD 7

1.3.1. Modélisation géométrique sur ITK-SNAP 7

1.3.2. Simulation numérique des écoulements sur STAR-CCM+ 10

1.3.3. Variables étudiées 13

2. Etude préliminaire : Faisabilité de la CFD dans l'étude du SNPC 17

2.1. Introduction 17

2.2. Matériel et Méthode 17

2.2.1. Sélection de l'individu sain 17

2.2.2. Sélection des individus pathologiques 17

2.2.3. Calculs de CFD 18

2.3. Résultats 18

2.3.1. Vitesses 18

2.3.2. Températures 19

2.3.3. Lignes de courant 21

2.3.4. Etude instationnaire 23

2.4. Discussion 24

2.5. Conclusion 25

3. SNPC et CFD : Etude des corrélations cliniques 27

3.1. Introduction 27

3.2. Matériel et Méthodes 27

3.2.1. Population 27

3.2.2. Evaluation de la symptomatologie des patients 27

3.2.3. Modélisation en simulation numérique des écoulements 28

3.2.4. Variables de CFD étudiées 28
3.2.5. Analyse statistique 28
3.3. Résultats 29
3.3.1. Population d'étude 29
3.3.2. Corrélation CFD – questionnaires 31
3.3.3. Distribution du débit inspiratoire 32
3.3.4. Températures 34
3.3.5. Vitesse 37
3.3.6. Pression Totale 40
3.3.7. Wall Shear Stress 41
3.3.8. Résistances nasales 43
3.4. Discussion 44
3.5. Conclusion 47
4. Chirurgie virtuelle : Apport de la CFD dans le traitement du SNPC 49
4.1. Introduction 49
4.2. Matériel et Méthode 50
4.2.1. Sujets inclus 50
4.2.2. Modélisation géométrique 52
4.2.3. Protocole de chirurgie virtuelle 52
4.2.4. Etude en simulation numérique des écoulements 53
4.2.5. Variables de CFD étudiées 53
4.3. Résultats 54
4.3.1. Auto-questionnaires 54
4.3.2. Volume implanté 54
4.3.3. Distribution de l'écoulement et débit 55
4.3.4. Température 59
4.3.5. Vitesse 64

4.3.6. Pression Totale 67
4.3.7. Wall Shear Stress 68
4.3.8. Résistances nasales 68
4.4. Discussion 69
4.5. Conclusion 72
5. Limites et perspectives 74
5.1. Limites de la CFD 74
5.2. Perspectives 76
6. Conclusion 77
Bibliographie 78
Annexes 82

1. INTRODUCTION

1.1. Le Syndrome Nasal Post-Chirurgical

Le bien-être respiratoire nasal est une sensation difficile à caractériser et qui repose sur de nombreux paramètres anatomiques (conformation des fosses nasales), biologiques (récepteurs sensitifs de pression et de température) et physiques (propriétés de l'air inspiré et modalités du conditionnement). De nombreuses pathologies affectent ce bien-être. Parmi elles, le Syndrome du Nez Vide (SNV), décrit pour la première fois en 1994 par Kern et Moore[1], est une entité clinique récente, mal définie et encore controversée quant à sa physiopathologie[2]. Ce syndrome, rare, affecte certains patients après une chirurgie fonctionnelle naso-sinusienne réalisée pour obstruction nasale, à type de turbinectomies inférieures et/ou moyennes[3,4].

A ce nom, nous préférons celui de Syndrome Nasal Post-Chirurgical (SNPC). Cette nouvelle entité, plus vaste, regroupe l'ensemble des symptômes pouvant être ressentis par tout patient dans les suites d'une chirurgie endonasale, qu'elle soit fonctionnelle ou carcinologique, dès lors qu'elle a abouti à une importante exérèse de structures nasosinusiennes notamment turbinales.

Le symptôme majeur ressenti par les patients est une sensation d'obstruction nasale, dite paradoxale, surprenante pour le clinicien car sans cause évidente retrouvée à l'examen clinique et non objectivée par la rhinomanométrie. Les autres symptômes rapportés par les patients sont une sensation d'étouffement, des douleurs nasales, des céphalées, une hyposmie, une sécheresse rhino-pharyngée, l'absence de sensation de passage nasal d'air, une hypersensibilité à l'air froid, une irritabilité, un trouble anxieux, des troubles du sommeil ou du comportement, voire même des idées suicidaires.

L'examen clinique et surtout l'endoscopie, retrouvent des fosses nasales très remaniées par une (des) chirurgie(s) antérieure(s), au cours desquelles les structures turbinales ont été amputées largement voire en totalité. Il retrouve fréquemment une muqueuse sèche, des croûtes et une suppuration.

1.2. Intérêts de la simulation numérique des écoulements

L'usage de la simulation numérique des écoulements (Computational Fluid Dynamics - CFD) pour l'étude de la ventilation nasale a connu un essor au cours des années 2000. La CFD consiste à étudier les écoulements de fluides, ou leurs effets, par la résolution numérique d'équations de mécanique des fluides.

Appliquée aux fosses nasales, la CFD vise à modéliser avec précision l'écoulement de l'air et son conditionnement. Elle a permis d'acquérir de nouvelles connaissances concernant la ventilation nasale « normale », c'est-à-dire chez un sujet sain ne se plaignant pas d'obstruction. La conformation interne des fosses nasales permet d'orienter l'air inspiré comme suit : la majeure partie du débit inspiratoire se distribuerait différemment selon les individus, soit dans le couloir moyen soit dans le couloir inférieur en proportions variables, alors qu'une petite partie du débit serait dirigé vers la fente olfactive[5–7]. Par ailleurs il existerait une formation relativement fréquente de tourbillons dans la partie antéro-supérieure de la fosse nasale[5], immédiatement après le passage de la valve nasale. Cela pourrait être lié à une augmentation brutale du volume après la valve nasale, zone la plus étroite de l'arbre aérien. Néanmoins l'impact fonctionnel de ces formations tourbillonnaires est encore inconnu.

Les études de CFD réalisées sur des cas de SNV ont permis de faire émerger plusieurs hypothèses expliquant les symptômes décrits par les patients :

- Une diminution du débit d'air parvenant à la fente olfactive[6,8,9] pourrait expliquer l'anosmie ou l'hyposmie dont se plaignent souvent les patients atteints de SNV.

- Une diminution de la surface d'échange muqueux après turbinectomie entrainerait une diminution du nombre de récepteurs TRPM8, qui sont responsables de la perception du passage de l'air[10–12]

- Une augmentation de la vitesse associée à une diminution de la température[8,9,13], pourrait également induire une sensation d'obstruction nasale par le

biais des thermorécepteurs de la muqueuse nasale, qui participent avec les mécanorécepteurs à la sensation de passage d'air nasal[14].

- L'humidité de l'air serait également en cause dans la sensation d'absence de passage nasal d'air. En effet, Zhao et al.[15] ont montré que l'humidité de l'air influence de manière significative la sensation de perméabilité nasale. Plus que l'air froid, ce serait le refroidissement de la muqueuse (majorée en cas d'hygrométrie élevée) que l'individu percevrait.

- L'air plus frais qui parvient au cavum pourrait être responsable d'un phénomène de condensation (contact air froid – muqueuse chaude), responsable de la sensation de rhinorrhée postérieure rapportée par les patients.

- La formation de tourbillons (vortex) près du plancher des fosses nasales après turbinectomie inférieure totale[6] pourrait, elle, entrainer une sècheresse et donc une crustation fréquemment retrouvées dans les SNV.

- Après une turbinectomie moyenne, une augmentation locale des vitesses autour de la région innervée par le ganglion sphéno-palatin[6], pourrait entrainer sa stimulation par le passage de l'air inspiré, expliquant les douleurs et céphalées rapportées par les patients.

- La diminution de la résistance nasale à l'expiration[2,6,9,16,17] pourrait expliquer la sensation de gêne respiratoire globale ressentie par les patients. La résistance nasale normale à l'expiration contribue à maintenir le volume pulmonaire en permettant l'ouverture des bronchioles périphériques et en optimisant la ventilation alvéolaire[2,18].

Ces mécanismes restent toutefois des hypothèses, la physiopathologie du SNPC n'étant toujours pas clairement élucidée.

1.3. Notre méthode de CFD

1.3.1. Modélisation géométrique sur ITK-SNAP

Tout d'abord, une reconstruction en trois dimensions de la cavité naso-sinusienne est réalisée à partir du scanner du patient. Pour cela, nous utilisons le logiciel de segmentation semi-automatique d'images ITK-SNAP.

La segmentation semi-automatique permet de séparer une image en plusieurs régions, en réunissant dans le même ensemble les points adjacents ayant le même niveau de gris, et en progressant de proche en proche. Lors de cette étape, le choix de la valeur seuil séparant les cavités aériques nasosinusiennes des structures osseuses ou cartilagineuses et des parties molles adjacentes est primordiale. En effet, si le seuil choisi est trop bas, le risque est que la segmentation englobe les régions voisines présentant un niveau de gris inclus dans la plage de seuillage (telle que la muqueuse ou le cartilage). Il est donc important de s'assurer que la géométrie obtenue corresponde bien à une structure anatomique correcte pour chaque reconstruction, sinon il convient de redéfinir une valeur de seuillage plus élevée. En revanche si le seuil choisi est trop haut, certains sinus peuvent être exclus de la géométrie, car le méat faisant communiquer ce sinus avec la lumière de la fosse nasale peut apparaitre comme fermé.

Cette zone de transition correspondant à un changement progressif des niveaux de gris, et afin d'établir au mieux la valeur de seuillage, le logiciel ImageJ® v.1.44o (National Institutes of Health) a été utilisé pour calculer la valeur moyenne des niveaux de gris à partir de l'histogramme établi au niveau de deux structures adjacentes air/os ou air/tissus mou, selon la méthode du Half Maximum Height[19]. Dix mesures ont été réalisées pour chaque individu, avec détermination d'une valeur maximale, d'une valeur minimale, et d'une valeur moyenne. La valeur moyenne des moyennes a été utilisée comme valeur seuil (Figure 1).

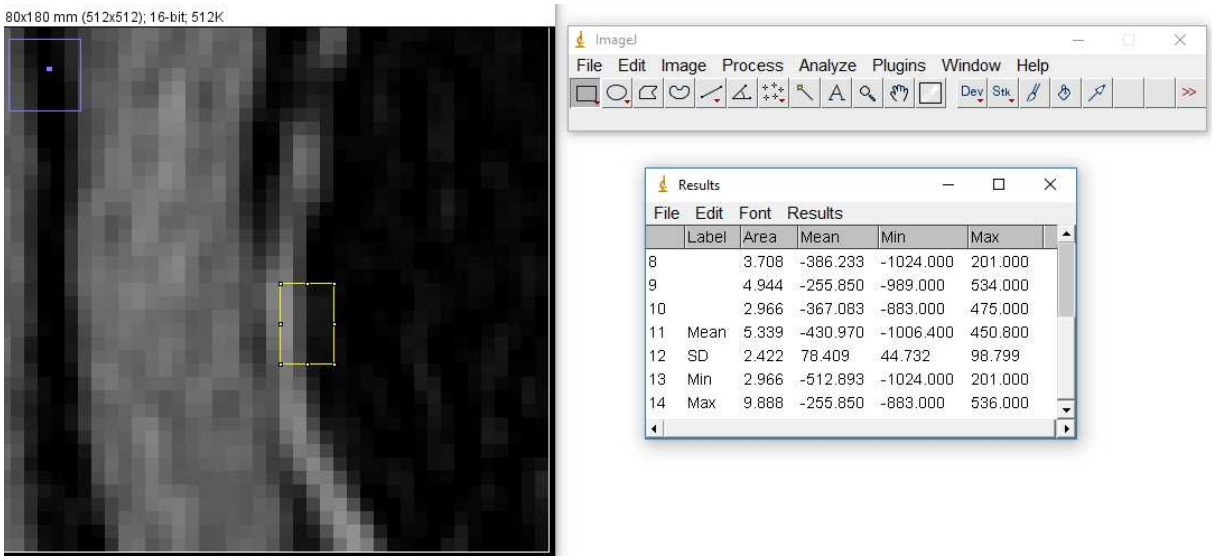


Figure 1 : Vue zoomée d'une coupe axiale de scanner, illustrant la technique du HMH
Sélection d'une zone de transition air / tissus mou ou air / os.
Calcul de la moyenne des niveaux de gris sur une série de 10 mesures.

Plusieurs étapes sont ensuite nécessaires :

1) Sélection de la région d'intérêt : la limite supérieure passe au-dessus des sinus frontaux, les limites latérales passent par les cartilages auriculaires, la limite inférieure passe sous le nasopharynx, la limite antérieure passe en avant de la pointe du nez, la limite postérieure passe en arrière du pharynx (Figure 2).

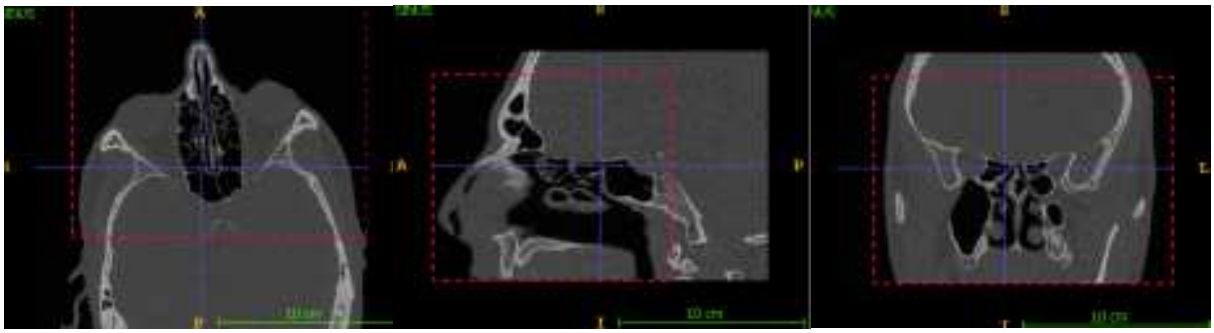


Figure 2 : Définition des limites de la région d'intérêt

2) Mise en place des contours actifs (bulles) à l'intérieur de la fosse nasale. Le contour actif va se dilater pour remplir la cavité aérique naso-sinusienne, en s'arrêtant

aux zones de fort gradient d'intensité (os) (Figure 3). Le paramètre d'expansion du contour actif a été réglé au maximum pour permettre au contour actif de passer les régions anatomiques étroites. Par ailleurs aucun algorithme de lissage n'a été appliqué pour conserver une reconstruction aussi anatomique que possible.

3) Exportation de ce fichier comme une surface Mesh en format STL.

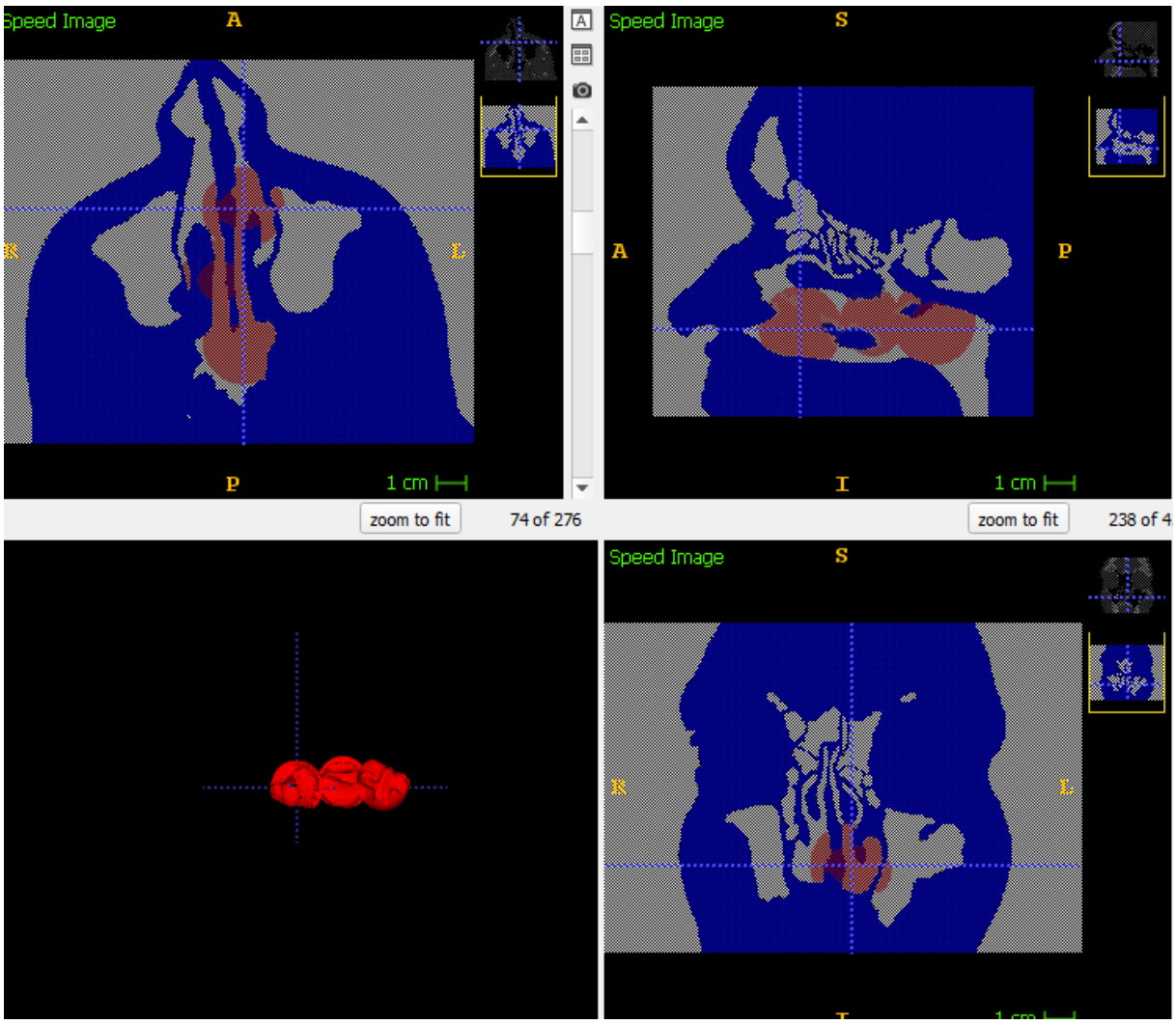


Figure 3 : Visualisation des contours actifs dans les fosses nasales.
Contours actifs (rose) en cours d'expansion dans les cavités aériennes nasosinusiennes.
En bleu : os et tissus mou, En gris : air.
En rouge : visualisation du modèle en cours d'acquisition.

1.3.2. Simulation numérique des écoulements sur STAR-CCM+

Le maillage surfacique 3D (Figure 4) obtenu dans ITK-SNAP (fichier au format .STL) est ensuite importé dans STAR-CCM+. Les calculs de CFD ne peuvent pas être réalisés sur ce maillage surfacique, qui doit être travaillé afin d'obtenir un maillage volumique.

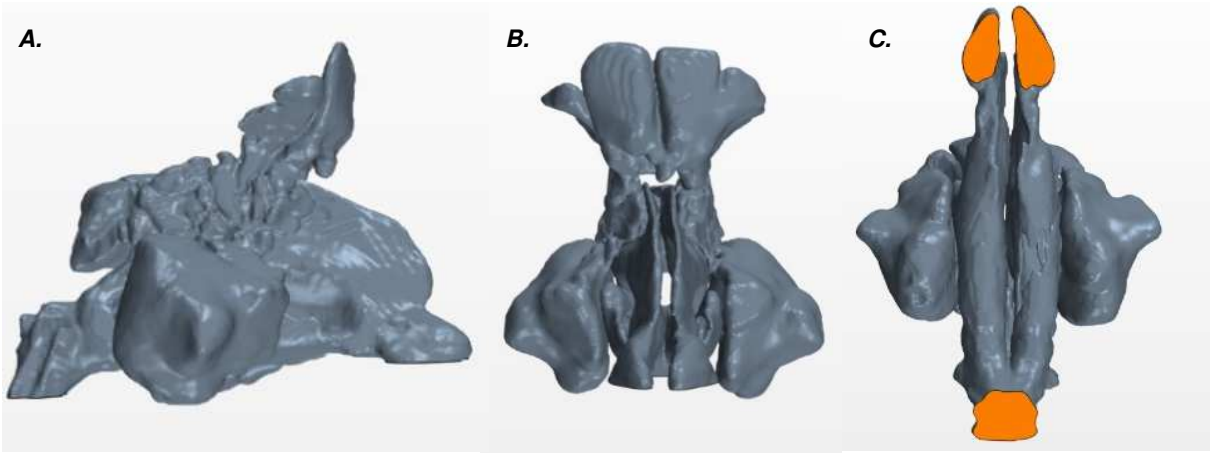


Figure 4 : Géométrie initiale d'une modélisation des cavités nasosinusiennes d'un adulte sain après importation du maillage surfacique dans StarCCM+.
A. Vue latérale droite, *B*. Vue de face, *C*. Vue inférieure.
En orange : les narines (en haut) et le pharynx (en bas), qui supporteront les conditions limites du calcul (« pressure outlet »).
En gris : la paroi, considérée comme un mur rigide non glissant.

Un nouveau repère orthonormé est défini, avec comme origine le point le plus antérieur de la narine gauche, le plan XY correspondant au plan axial (plan du plancher des fosses nasales), le plan XZ correspondant au plan coronal, et le plan YZ correspondant au plan sagittal. Le domaine de calcul est ensuite réduit à la zone d'intérêt (des narines au cavum).

Les surfaces correspondant aux narines droite et gauche et au cavum sont identifiées. Considérées comme des entrées (« pressure outlet ») (figure 4), elles supporteront par la suite les conditions limites du calcul. Pour certains sujets, en raison d'un problème technique lié à l'anatomie des narines, nous avons utilisé une sphère placée en avant des deux narines à laquelle a été imposée la même condition aux limites qu'aux narines des autres sujets.

La surface restante correspond aux parois des fosses nasales et des sinus, elle est appelée « sinus » et considérée comme un mur rigide.

Le maillage volumique peut ensuite être établi, grâce à un mailleur de type polyhédrique avec une couche prismatique, afin de prendre en compte les effets de couche limite. Les paramètres suivants sont configurés pour le maillage : éléments de 1mm de côté, nombre de couches prismatiques égal à 10, avec un maillage final comprenant plusieurs millions de cellules (Figure 5).

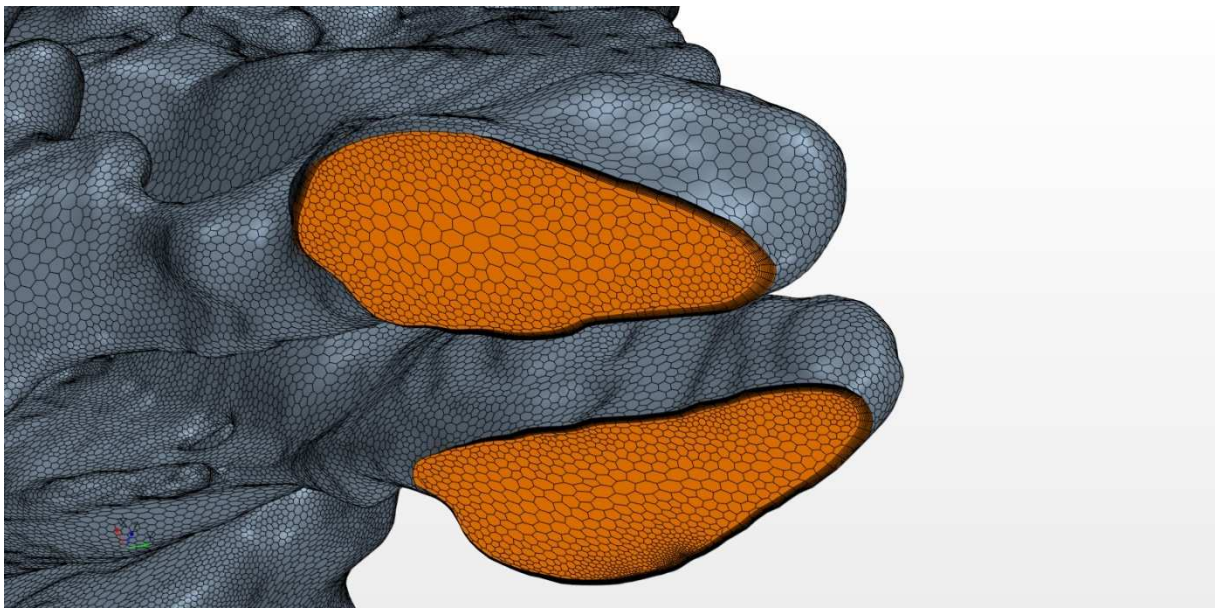


Figure 5 : Exemple de maillage volumique.
En gris : la paroi. En orange : les narines, avec visualisation de la couche prismatique à la périphérie du maillage.

Les hypothèses de calcul, appelées conditions limites, sont ensuite définies. L'air est choisi comme fluide en écoulement. Il est considéré comme un fluide newtonien, incompressible, de densité constante (ρ=1.225kg/m3), de viscosité μ=1.8 10^{-5} Pa.s, aux conditions normales de températures (0°C) et de pression (1 bar). L'écoulement est considéré en régime laminaire, selon le principe de la rhinomanométrie puisque l'écoulement aérien nasal en respiration calme chez un individu sain a été décrit comme majoritairement laminaire. Un modèle stationnaire est utilisé, en utilisant un solveur découplé (segregated), stationnaire, résolu au second ordre en espace. Un modèle instationnaire est également réalisable, en utilisant un

solveur découplé, instationnaire implicite, résolu au second ordre en temps et en espace, avec un pas de temps de 0.01 seconde.

Les conditions limites sont les suivantes :

- La paroi des fosses nasales et des sinus est considérée comme un mur non glissant de température imposée de 34 °C,

- La pression imposée aux narines est de 0 Pa, et la température choisie de l'air inspiré est de 20°C,

- Au cavum la température de l'air est choisie à 37 °C. En calcul stationnaire une pression de -150 Pa (correspondant à une inspiration) est imposée au cavum. En calcul instationnaire, nous avons utilisé les valeurs de pression d'un cycle ventilatoire d'un adulte mesurées au cours d'une expérience en laboratoire (Figure 6).

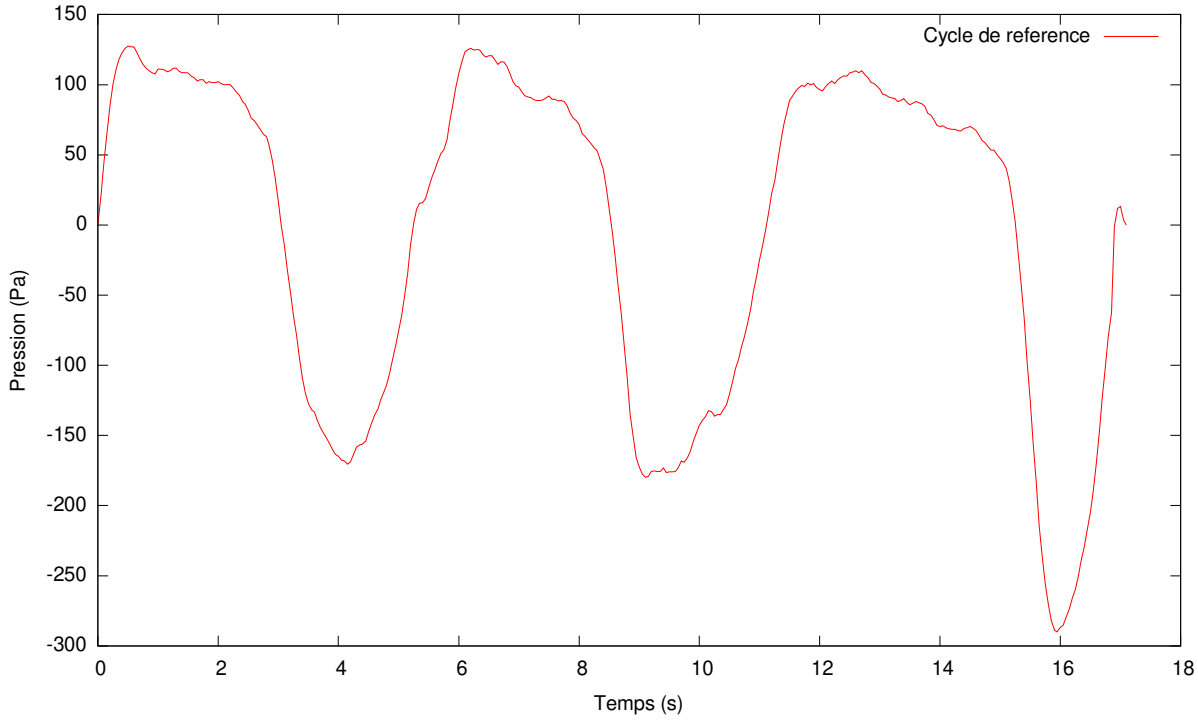


Figure 6 : Cycle nasal utilisé pour les calculs en instationnaire.
Valeurs de pression d'un cycle ventilatoire d'un adulte mesurées en laboratoire.

1.3.3. Variables étudiées

L'écoulement inspiratoire peut être visualisé par la matérialisation de lignes de courant (streamlines), qui sont les lignes tangentes aux vecteurs vitesses illustrant ainsi le parcours qui serait suivi par des particules sans masse relâchées dans l'écoulement.

Les résistances nasales (en Pa/mL/s) à l'inspiration sont calculées selon la formule suivante : $R = \Delta P/Q$, où ΔP est la différence de pression entre les narines et le rhinopharynx (en Pa), et Q est le débit (en mL/s).

La vitesse (en m/s) de l'air et sa température (en °C) sont analysées.

La pression totale (en Pa) est calculée selon la formule suivante : Pression totale = Pression statique + pression dynamique. La pression statique est la pression exercée par l'air sur la paroi perpendiculairement à l'écoulement. La pression dynamique correspond à la force requise pour accélérer la masse de l'air depuis l'état de repos (à l'entrée des narines), jusqu'au pharynx.

La contrainte de cisaillement à la paroi ou Wall Shear Stress (WSS), est la force de friction générée quand l'air entre en contact avec la paroi. Il s'agit d'une contrainte mécanique appliquée de façon tangentielle (parallèle) à la paroi. Il existe deux méthodes de mesure. La première est de réaliser une étude des maxima, ce qui revient à retenir la plus grande valeur (Peak WSS) mesurée dans la région du couloir inférieur, que le cornet soit en place ou qu'il ait été partiellement ou entièrement réséqué. Cette méthode d'analyse a déjà été réalisée auparavant[17], avec une bonne efficacité pour mettre en évidence une différence significative entre sujets SNV et sujets sains. La deuxième méthode de mesure est le calcul d'une moyenne au niveau d'une région de la paroi (par exemple la paroi du couloir inférieur). Néanmoins nous n'avons pas retenu cette méthode car le logiciel StarCCM+, dans sa version actuelle, impose de définir la surface sur laquelle nous souhaitons calculer la valeur moyenne du WSS avant la réalisation du calcul de CFD, et se pose la question de quelle surface définir : la région de la tête du cornet inférieur ? L'ensemble du couloir inférieur ?

Pour le calcul stationnaire, qui correspond à une inspiration, les vitesses et les températures peuvent être étudiées via neuf plans de coupe réalisés dans le plan coronal tous les centimètres à partir du point le plus antérieur de la narine gauche (Figure 7 et 8). Ces plans de coupe, correspondant à l'intersection d'une coupe coronale et du domaine de calcul, sont appelés cross-sections.

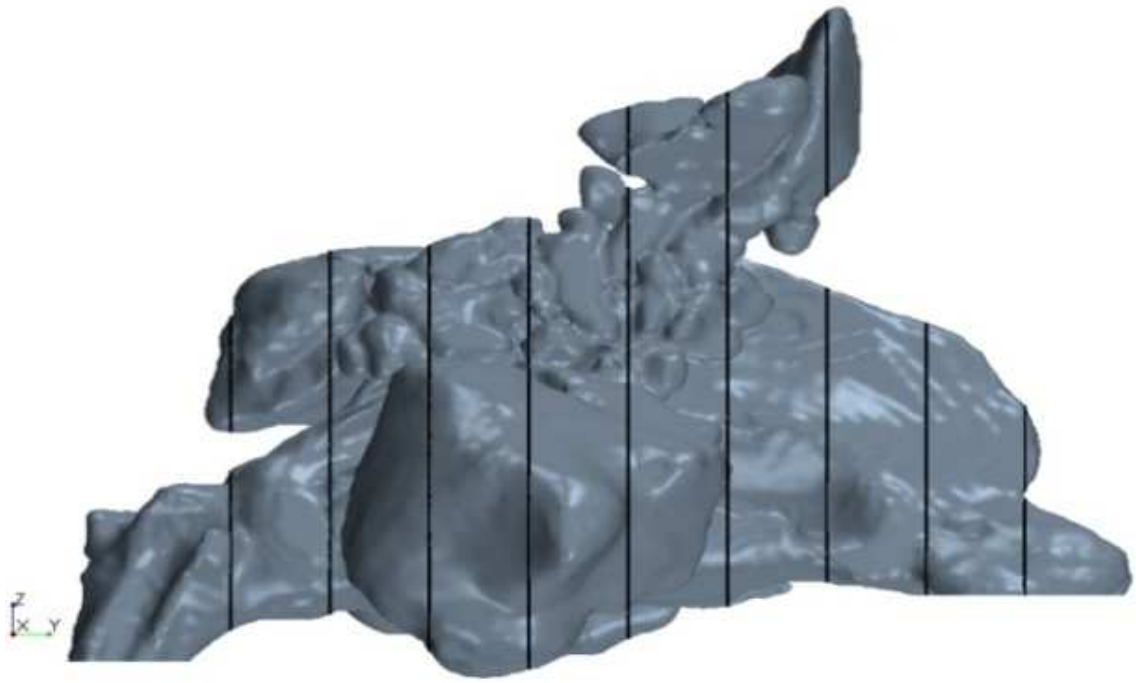


Figure 7 : Position des neuf cross sections – sujet consensus, vue latérale droite

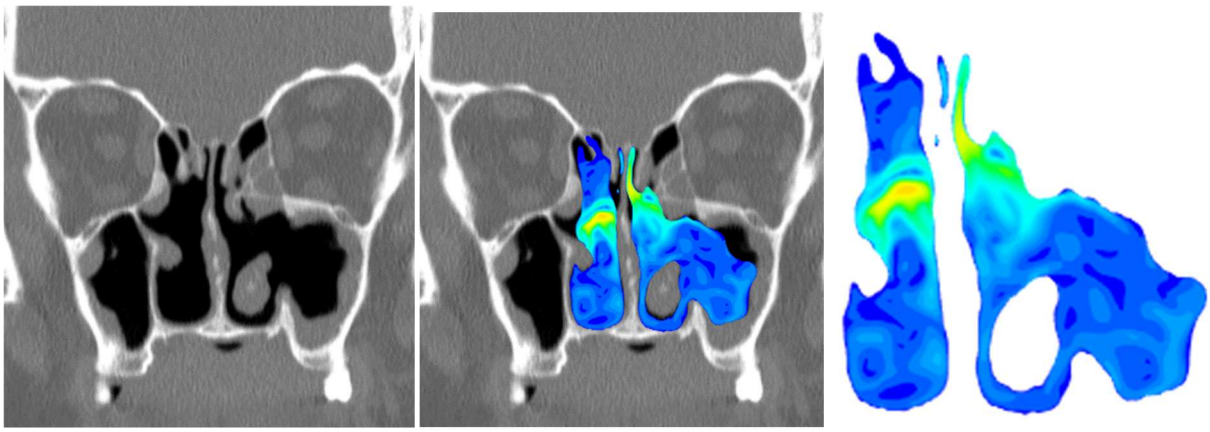


Figure 8 : Exemple d'une cross section de CFD étudiant la vitesse, avec sa correspondance scannographique.

Dans notre modèle, la région du cornet inférieur se visualise au mieux sur les cross sections N°4, N°5, N°6 et N°7. Sur ces coupes, la fosse nasale a été divisée en trois parties : couloir inférieur, couloir moyen, et couloir supérieur (Figure 9). Ceci nous a permis d'étudier plus spécifiquement certains paramètres dans ces sous-divisions : la température, la vitesse, et la pression totale.

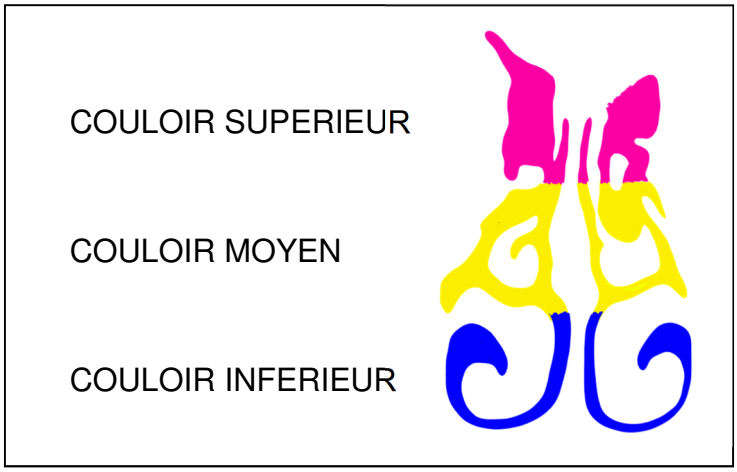


Figure 9 : Définition des couloirs inférieur, moyen et supérieur.
Calcul dans chaque couloir de la vitesse, la température, et de la pression totale.

Plus spécifiquement sur la cross section N°5 (qui correspond au milieu de la fosse nasale), nous avons calculé les débits dans les couloirs inférieur, moyen et supérieur, et ainsi la répartition (en %) du débit inspiratoire dans ces trois couloirs.

Pour le calcul instationnaire, qui simule de 3 cycles respiratoires complets (inspiration et expiration), la résolution temporelle permet d'obtenir l'établissement d'une rhinomanométrie numérique ainsi qu'une courbe des résistances nasales à l'écoulement de l'air.

Points clés

- Le Syndrome Nasal Post-Chirurgical (SNPC) est un ensemble de symptômes pouvant être ressentis par tout patient dans les suites d'une chirurgie endonasale, particulièrement après turbinectomie (inférieure et/ou moyenne) lorsqu'elle est radicale.
- Les patients se plaignent d'obstruction nasale, dite paradoxale car sans cause évidente retrouvée à l'examen clinique et non objectivée par la rhinomanométrie.
- Les patients décrivent également une sensation d'étouffement, des douleurs nasales, des céphalées, une hyposmie, une sécheresse rhino-pharyngée, une absence de sensation de passage nasal d'air, une hypersensibilité à l'air froid, la présence de croûtes dans le nez.
- La simulation numérique (CFD) permet l'étude de l'écoulement et du conditionnement de l'air par la résolution numérique d'équations de mécanique des fluides. Elle est applicable à la géométrie des fosses nasales.
- Cette technique récente a permis de faire émerger de nouvelles hypothèses concernant la physiopathologie du SNPC : diminution du débit d'air parvenant à la fente olfactive, diminution de la vitesse de l'écoulement nasal ou a contrario augmentation des vitesses, moindre réchauffement de l'air inspiré, formation de tourbillons (vortex) dans le couloir inférieur des fosses nasales après turbinectomie inférieure totale et diminution de la résistance nasale à l'expiration.
- Dans notre méthode de CFD, une reconstruction en 3D des cavités nasosinusiennes est réalisée à partir du scanner du patient par procédé de segmentation semi-automatique (logiciel ITK-SNAP), puis les calculs de CFD sont réalisés après définition des conditions limites (logiciel StarCCM+)
- Notre modèle de CFD nous permet d'analyser différents paramètres tels que la vitesse, la température, la pression totale, la contrainte de cisaillement à la paroi (WSS), le débit et les résistances nasales.

2. ETUDE PRELIMINAIRE : FAISABILITE DE LA CFD DANS L'ETUDE DU SNPC

2.1. Introduction

Nous avons réalisé une étude préliminaire de faisabilité de la CFD dans le SNPC. L'objectif de ce travail était de réaliser une étude des vitesses, des températures et des résistances nasales en CFD, en stationnaire et en instationnaire, sur des sujets avec SPNC, et de comparer leurs résultats à ceux obtenus chez un individu sain.

2.2. Matériel et Méthode

2.2.1. Sélection de l'individu sain

Concernant le sujet sain, il s'agissait du sujet consensus (moyen) d'une étude de morphométrie géométrique portant sur la variabilité du complexe nasosinusien[20] Cette étude a porté sur 70 sujets ne présentant pas de stigmates de chirurgie, traumatisme ou pathologie au niveau des cavités nasosinusiennes, et a étudié la variabilité des sinus frontaux et maxillaires au sein de cet échantillon de population adulte. Le sujet consensus était le sujet présentant la conformation moyenne de ces cavités rhino-sinusiennes.

2.2.2. Sélection des individus pathologiques

N'ont été inclus que les sujets dont le scanner, réalisé dans notre centre ou pas, était de qualité suffisante (en épaisseur de coupe ou en taille de matrice d'acquisition) pour permettre une reconstruction anatomique, de qualité, en 3 dimensions. Ont été inclus les patients adultes présentant cliniquement ou radiologiquement un SNPC, suivis dans le service d'ORL du CHU de la Conception à Marseille, dont l'examen physique et le scanner des sinus retrouvaient des stigmates de différentes chirurgies nasosinusiennes.

Au total 5 individus ont été inclus, 4 femmes et 1 homme. Trois de ces individus présentaient des plaintes importantes en rapport avec un SPNC, après une chirurgie

fonctionnelle endonasale (groupe SNPC-F). Les deux autres individus avaient été pris en charge pour des tumeurs malignes rhino-sinusiennes dont l'exérèse avait abouti au sacrifice des structures anatomiques normales rhino-sinusiennes et à la constitution d'une vaste cavité nasale. Ces individus n'exprimaient que peu de symptômes (groupe SNPC-C).

2.2.3. Calculs de CFD

La méthode de CFD que nous avons appliqué est celle décrite en 1.3.

Les variables étudiées étaient les lignes de courant, les vitesses, les températures et les résistances nasales.

L'analyse des résultats a été faite par évaluation visuelle colorimétrique.

2.3. Résultats

2.3.1. Vitesses

Concernant les vitesses, nous avons observé chez le sujet consensus que la plus grande partie de l'écoulement inspiratoire était localisée dans le couloir moyen. L'écoulement inspiratoire était brutalement accéléré au passage de la valve nasale, puis il traversait la fosse nasale à une vitesse moyenne de 6 à 8 m/s.

Chez les sujets pathologiques, la vitesse était modifiée. Elle était augmentée dans les zones de vacuité secondaires aux résections chirurgicales (couloir inférieur après turbinectomie inférieure, couloir moyen après turbinectomie moyenne, ou dans une vaste cavité nasale médiane secondaire à une chirurgie carcinologique), avec une vitesse moyenne dans la fosse nasale de 9 à 15 m/s. (Figure 10)

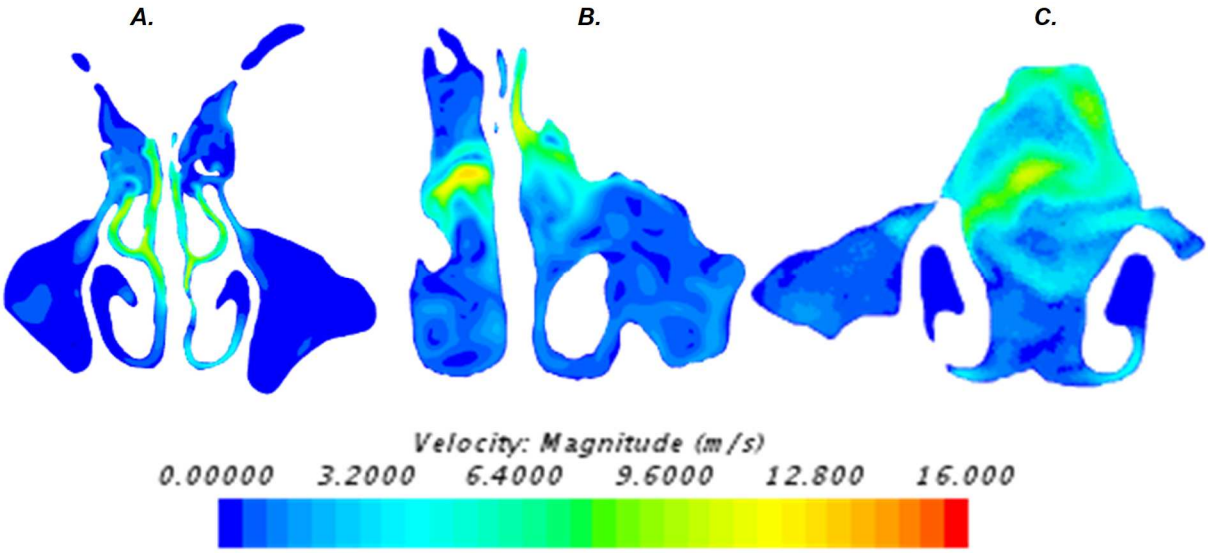


Figure 10 : Exemple des vitesses sur la cross section N°5 de trois sujets :

A. Sujet sain
B. Sujet SNPC-F
C. Sujet SNPC-C

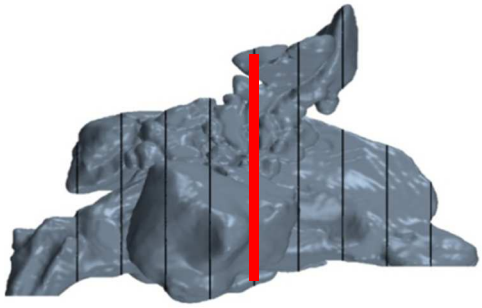


Figure 11 : Scout view montrant l'emplacement de la cross section N°5

2.3.2. Températures

Chez le sujet consensus, les températures les plus élevées étaient observées dans les couloirs inférieurs, entre 32 et 34°C. La température normale de l'air dans le cavum était de 30°C en moyenne. Chez les sujets pathologiques des températures très basses étaient observées dans les zones d'exérèses chirurgicales : dans le couloir inférieur après turbinectomie inférieure (températures entre 27 et 31°C), dans le couloir moyen après turbinectomie moyenne (températures entre 20 et 27°C), ou dans une vaste cavité nasale médiane secondaire à une chirurgie carcinologique (températures entre 20 et 29°C). (Figure 12)

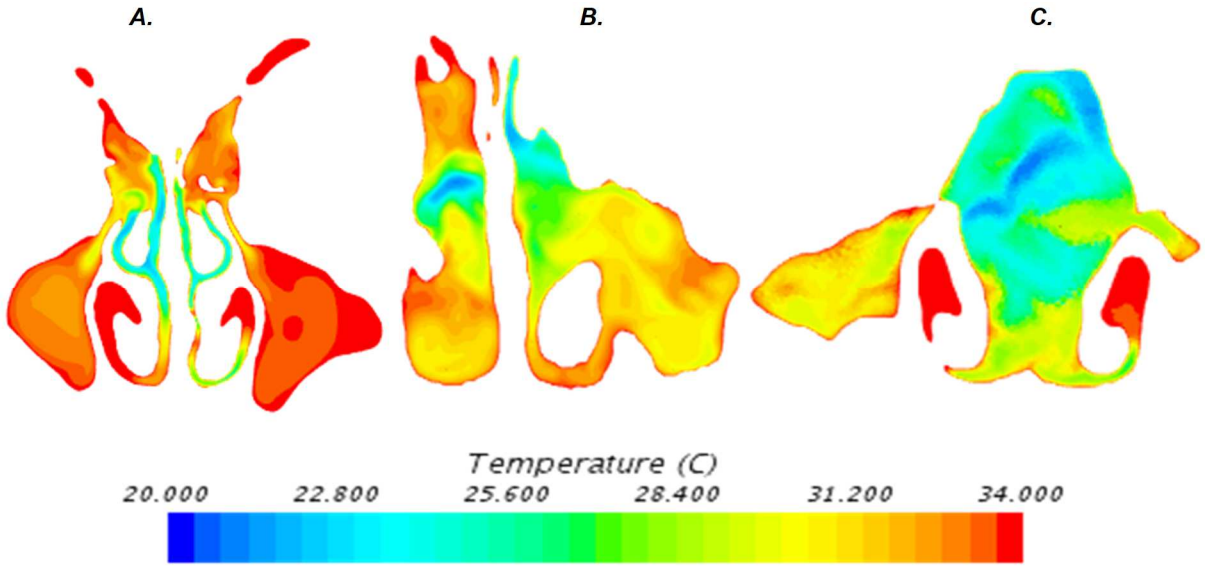


Figure 12 : Exemple des températures sur la cross section N°5 de trois sujets :

A. Sujet sain
B. Sujet SNPC-F
C. Sujet SNPC-C

L'air parvenant au cavum était à 30-32°C chez le sujet consensus. La température de l'air arrivant au cavum était plus froide chez les sujets avec SNPC : entre 26 et 30°C avec parfois même des zones à 24 °C. (Figure 13).

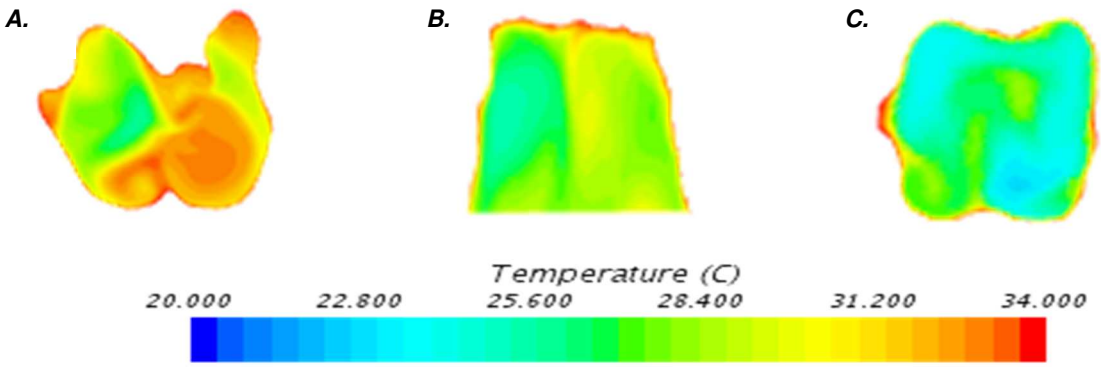


Figure 13 : Exemple des températures sur la cross section N°9 de trois sujets :

A. Sujet sain
B. Sujet SNPC-F
C. Sujet SNPC-C

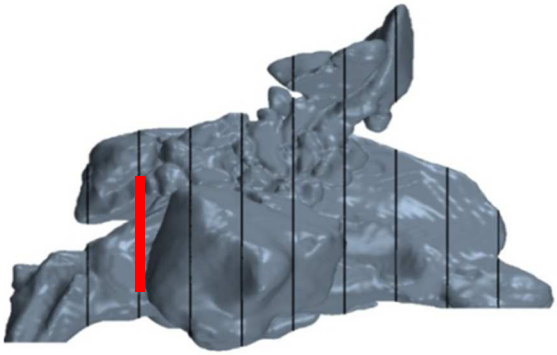


Figure 14 : Scout view montrant l'emplacement de la cross section N°9

2.3.3. Lignes de courant

Chez deux sujets, tous deux SNPC-F, des formations tourbillonnaires (vortex) étaient visibles au niveau du couloir inférieur (Figure 15), alors qu'elles étaient absentes chez le sujet sain et chez les sujets SNPC-C.

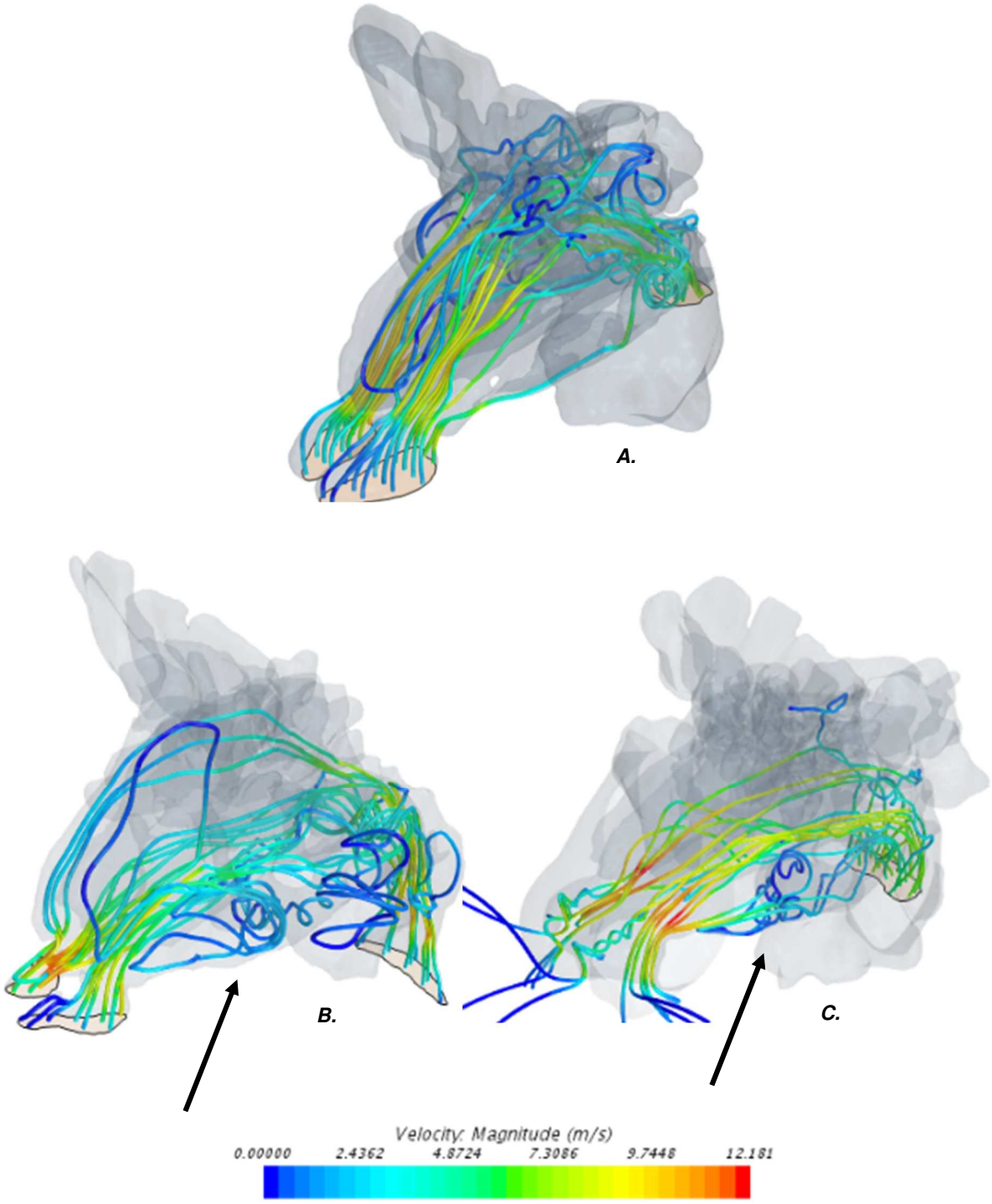


Figure 15 : Exemple de streamlines de trois sujets :

A. Sujet sain
B. et C. Sujets SNPC-F

Vortex observés dans les couloirs inférieurs de deux sujets SNPC-F (flèches)

2.3.4. Etude instationnaire

Les rhinomanométries numériques montraient des cycles ventilatoires normaux, avec des valeurs normales de débits selon les pressions. (Figure 16)

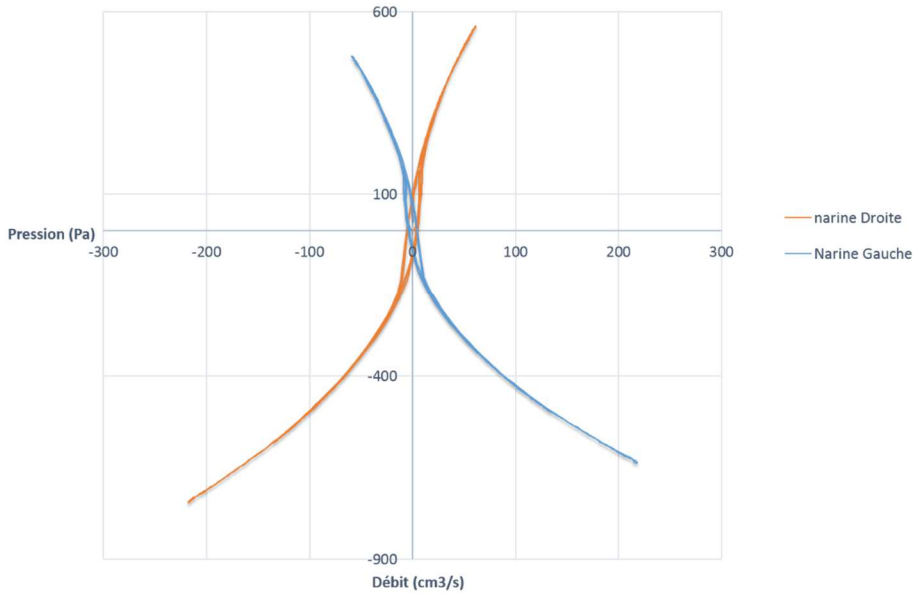


Figure 16 : Exemple de rhinomanométrie numérique chez un sujet présentant un SNPC-F

Par ailleurs les résistances nasales au cours du temps étaient normales, voire même faibles, surtout à l'expiration (Figure 17).

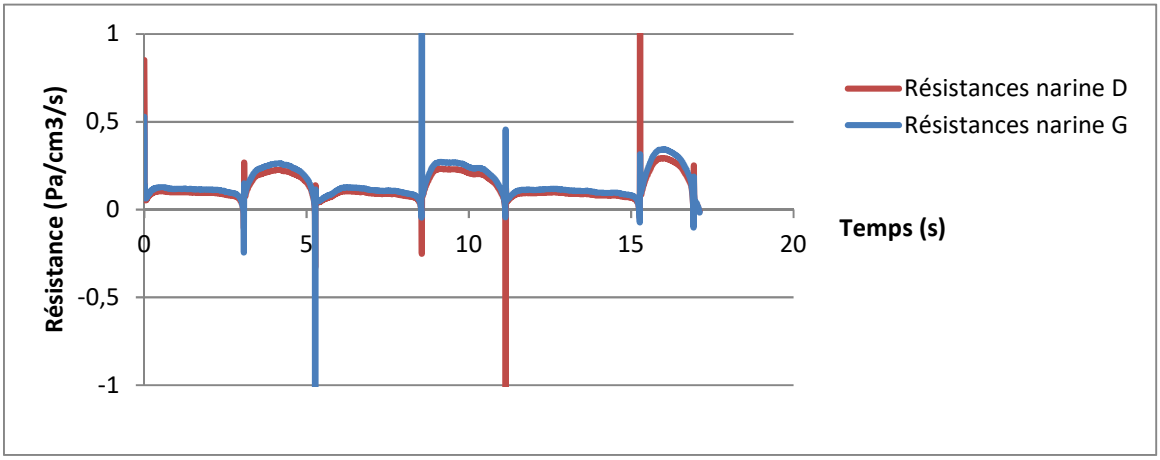


Figure 17 : Exemple de résistances nasales au cours du temps chez un sujet présentant un SNPC-F

2.4. Discussion

L'objectif de ce travail était de réaliser une étude préliminaire de CFD sur des sujets avec SPNC, et de comparer leurs résultats à ceux obtenus chez un individu sain.

Nous avons mis en évidence des températures plus froides dans le couloir inférieur et dans le cavum des sujets avec SNPC que chez le sujet sain, avec augmentation des vitesses dans ces mêmes zones. Cette observation parait cohérente : plus l'air circule vite, moins il est au contact de la muqueuse de la fosse nasale et moins il sera réchauffé. Ces observations sont concordantes avec ce qui a déjà pu être rapporté dans la littérature. En effet Wexler et al. avaient décrit une accélération des vitesses de 20% à la partie postérieure de la fosse nasale après avoir artificiellement réséqué 2 mm de muqueuse de cornet inférieur de manière circonférentielle sur l'IRM naso-sinusienne d'un sujet sain[13]. Chen et al.[9] ont publié la formation de vortex avec zones d'accélérations locales après avoir virtuellement, sur une IRM, réséqué les cornets inférieurs d'un sujet sain.

L'accélération de l'écoulement d'air dans le couloir inférieur est également associée à la formation de vortex chez deux sujets SNPC-F. Ceci avait déjà été mis en évidence dans une autre étude[6] et pourrait expliquer le mécanisme de formation des croûtes par une plus grande sécheresse de la muqueuse au contact de ces tourbillons.

Nous avons observé des résistances nasales très basses, surtout à l'expiration. Ceci avait déjà mis en évidence dans d'autres travaux.[6,9,16,17] L'une des hypothèses concernant la dyspnée ressentie par les patients atteints de SNV est que des résistances nasales expiratoires quasi-nulles entraineraient un collapsus des bronchioles périphérique et une altération de la ventilation alvéolaire[2], pouvant conduire à un syndrome d'hyperventilation.[18]

Il est intéressant de noter que les résultats en termes d'augmentation des vitesses et de baisses des températures sont les mêmes pour tous les sujets SNPC, alors que leur symptomatologie n'est pas du tout la même. En effet les deux sujets SNPC-C ont des plaintes fonctionnelles très limitées et ne se plaignent notamment pas

d'obstruction nasale. Ces deux sujets ont des structures turbinales inférieures qui ont été conservées. En revanche, les trois sujets SNPC-F ont tous des amputations variables de ces structures, ce qui pourrait laisser penser que les cornets inférieurs ont un rôle important dans la physiologie de la respiration nasale. Cependant il pourrait exister également une dimension psychologique dans la symptomatologie des patients SPPC - F, qui n'est à ce jour pas prise en compte dans les travaux de recherche.

L'une des limites de cette étude est que les modifications de vitesse et de température observées dans cette étude n'ont pas fait l'objet de calculs statistiques, mais d'une évaluation visuelle colorimétrique. En effet, il s'agissait d'une première étude préliminaire permettant d'évaluer la faisabilité de l'utilisation de la CFD dans l'étude du SNPC, et ayant servi de prérequis à notre étude présentée ci-après.

2.5. Conclusion

Cette première analyse en CFD portant sur cinq patients atteints de SNPC, a conforté des résultats qui avaient déjà pu être observés dans la littérature : une augmentation des vitesses dans les zones de vacuité secondaires aux exérèses chirurgicales, avec une diminution des températures dans ces zones, pouvant générer une sensation d'obstruction nasale, et la formation de tourbillons ou vortex dans le couloir inférieur pouvant entrainer une sécheresse muqueuse et un phénomène de crustation.

Par ailleurs, alors que les changements dans les paramètres physiques sont les mêmes, il existe une différence dans la symptomatologie exprimée entre les sujets présentant un SNPC suite à une chirurgie fonctionnelle (SNPC-F) chez qui les cornets inférieurs sont amputés, et les sujets présentant un SNPC suite à une chirurgie d'exérèse carcinologique (SNPC-C) chez qui les cornets inférieurs ont été préservés. Si les premiers expriment un cortège de symptômes importants dont une obstruction nasale, les deuxièmes présentent des plaintes fonctionnelles quasi-absentes et ne se plaignent pas d'obstruction nasale, ce qui suggère le rôle majeur du cornet inférieur dans le conditionnement de l'air inspiré.

Points clés

- Le Syndrome Nasal Post-Chirurgical (SNPC) peut survenir dans les suites d'une chirurgie endonasale, qu'elle soit fonctionnelle (SNPC-F, également appelé SNV dans la littérature) ou carcinologique (SNPC-C), particulièrement après turbinectomie (inférieure et/ou moyenne) lorsqu'elle est radicale.
- Le SNPC regroupe un cortège varié de symptômes d'inconfort nasal, parmi lesquels une obstruction nasale paradoxale (sans cause évidente retrouvée à l'examen clinique et non détectée par la rhinomanométrie).
- La simulation numérique des écoulements (CFD) est une technique récente qui a permis de faire émerger de nouvelles hypothèses concernant la physiopathologie du SNPC.
- Dans notre première étude de faisabilité de la CFD dans le SNPC, nous avons comparé les paramètres en CFD de cinq patients présentant un SNPC à un sujet sain.
- Trois sujets SNCP-F présentaient des séquelles de turbinectomies inférieures et/ou moyennes totales ou subtotales, et présentaient un cortège de symptômes très lourd avec un fort retentissement sur la qualité de vie.
- Deux sujets SNPC-C avaient été pris en charge pour des tumeurs malignes rhino-sinusiennes dont l'exérèse avait abouti au sacrifice des structures anatomiques normales rhino-sinusiennes et à la constitution d'une vaste cavité nasale, avec toutefois préservation des cornets inférieurs. Ces individus n'exprimaient que peu de symptômes.
- En CFD, nous avons observé une augmentation des vitesses avec baisse des températures dans les zones de vacuité secondaires aux exérèses chirurgicales : couloirs inférieur ou moyen pour les sujets SNPC-F, vaste cavité nasale pour les sujets SNPC-C. La température était toutefois conservée sous les cornets inférieurs des deux sujets SNPC-C. Dans le cavum, l'air était plus froid chez les sujets SNPC.
- Des vortex étaient observés dans les couloirs inférieurs chez deux des trois sujets SNPC-F.
- Les résistances nasales, inspiratoires et expiratoires, étaient très basses.

3. SNPC ET CFD : ETUDE DES CORRELATIONS CLINIQUES

3.1. Introduction

Comme mentionné plus haut, la majorité des patients SPNC-C n'expriment pas de plaintes fonctionnelles à la différence des sujets SNPC-F chez qui le tableau symptomatique est très lourd, avec un fort retentissement sur la qualité de vie. Nous avons donc choisi de recentrer nos travaux sur cette catégorie de patients.

Deux éléments nous ont paru pertinents à rechercher : d'une part, la corrélation entre les variables mesurées en CFD et les symptômes exprimés par les patients, afin de savoir quelles variables étaient les plus représentatives, d'autre part, appliquer notre protocole de CFD à une plus grande population de SNPC-F et les comparer à des sujets sains sélectionnés au hasard, afin d'étudier un plus grand nombre de variables avec réalisation d'une analyse statistique.

3.2. Matériel et Méthodes

3.2.1. Population

Les sujets SNPC-F éligibles à l'inclusion étaient des patients suivis à l'Hôpital de la Conception, APHM, Marseille, France, qui présentaient des plaintes en rapport avec un SNPC apparu secondairement, dans des délais variables, après une chirurgie fonctionnelle endonasale. Des stigmates de chirurgies nasosinusiennes étaient retrouvés à l'examen physique et sur le scanner des sinus. Les sujets sains étaient des individus sélectionnés au hasard, ne se plaignant pas d'obstruction nasale et chez qui un scanner des sinus avait été réalisé pour une raison autre. L'imagerie ne retrouvait pas d'anomalies nasosinusiennes.

3.2.2. Evaluation de la symptomatologie des patients

En raison de l'absence de test objectif permettant de quantifier les symptômes exprimés par les patients, une évaluation, subjective, par auto-questionnaires est le gold standard.

Les sujets inclus présentant un SNPC-F devaient répondre à trois questionnaires : NOSE (Nasal Obstruction Symptom Evaluation), SNOT-25 (Sino-Nasal Outcome Test) et ENS-6Q (Annexes 1, 2 et 3).

Le score NOSE est un questionnaire validé, couramment utilisé et spécifique à l'obstruction nasale[21,22]. Il s'agit d'un score basé sur un questionnaire en 20 points, qui est ensuite multiplié par 5 pour obtenir un score total sur 100. Un score de 100 indique une obstruction nasale complète. Selon leur score les patients sont ensuite classés comme ayant une obstruction nasale légère (score entre 5 et 25), modérée (score entre 30 et 50), sévère (score entre 55 et 75), ou extrême (score entre 80 et 100)[23].

Le score SNOT-25 est une modification du score SNOT-20 auquel Houser et al. ont ajouté 5 questions supplémentaires spécifiques au SNV[24]. Pour chaque item la réponse varie de 0 (absence de symptômes) à 5 (symptômes sévères). Ce score peut être facilement utilisé en pratique clinique pour caractériser les symptômes ressentis par les patients souffrant de SNV[25]

Enfin, le score ENS-6Q est un score dédié au SNV validé récemment [26]. Un score supérieur ou égal à 11 est un bon indicateur de la présence d'un SNV.

3.2.3. Modélisation en simulation numérique des écoulements

Une reconstruction 3D des cavités aériques nasosinusiennes de chaque sujet a été réalisée en utilisant le logiciel de segmentation semi-automatique d'images ITK-SNAP, selon les modalités techniques décrite dans la première partie ce de travail.

3.2.4. Variables de CFD étudiées

Les variables étudiées étaient les streamlines, la vitesse, la température, les résistances nasales, le Wall Shear Stress (WSS), la répartition du débit inspiratoire, et la pression totale, selon les modalités décrites en 1.3.

3.2.5. Analyse statistique

Les résultats ont été analysés via Microsoft Office Excel. Les calculs statistiques ont été faits en utilisant PAST software (Oyvind Hammer, University of Oslo, Norway).

Pour comparer les résultats obtenus en CFD chez les patients SNPC-F versus les patients sains, la différence statistique a été évaluée via un t test. La comparaison entre la symptomatologie ressentie par les patients et les variables obtenues en CFD a été faite en utilisant un test de corrélation de Spearman. La corrélation était considérée parfaite si $|r_s| = 1$, très forte si $|r_s| > 0.8$, forte si $0.5 > |r_s| > 0.8$, modérée si $0.2 > |r_s| > 0.5$, faible si $|r_s| < 0.2$ et nulle si $r_s = 0$. Les résultats présentant un $p<0.05$ étaient considérés comme statistiquement significatifs.

3.3. Résultats

3.3.1. Population d'étude

Sur les six sujets présentant un SNPC-F éligibles à l'inclusion, cinq ont été inclus, deux femmes et trois hommes. Un sujet a été exclu en raison de l'absence de réponse aux questionnaires d'évaluation.

	Sexe, âge	**Plaintes fonctionnelles**	**Structures endo-nasales manquantes**
Sujet SNPC-F N°1	Homme, 35 ans	Obstruction nasale bilatérale, rhinorrhée, douleurs faciales, sensation d'étouffement, croûtes, asthénie chronique, difficultés de concentration	Partie antérieure des deux cornets inférieurs
Sujet SNPC-F N°2	Femme, 35 ans	Obstruction nasale bilatérale, rhinorrhée, croûtes, céphalées	Cornets inférieurs droit et gauche
Sujet SNPC-F N°3	Homme, 33 ans	Obstruction nasale droite, rhinorrhée antérieure et postérieure, sensation de pression au niveau de la face, asthénie chronique	Cornets inférieurs droit et gauche
Sujet SNPC-F N°4	Femme, 25 ans	Obstruction nasale, pesanteur nasale, brûlure lors de la respiration, croûtes, et rhinorrhée postérieure	Cornet inférieur droit, partie antérieure du cornet inférieur gauche
Sujet SNPC-F N°5	Homme, 34 ans	Hyper-réactivité aux odeurs, douleurs nasales (brûlures), alternance de sensation de nez bouché et d'hyperventilation, rhinorrhée postérieure, croûtes	Cornets inférieurs droit et gauche

Tableau 1 : Caractéristiques des sujets SNPC-F

Les scores obtenus par les patients SNPC-F aux trois questionnaires ENS-6Q, SNOT-25 et NOSE sont présentés dans le tableau 2. Les cinq patients avaient notamment tous des scores ENS-6Q supérieur ou égal à 11, ce qui est un bon indicateur de la présence d'un SNV[26].

	ENS-6Q (/30)	**SNOT-25 (/125)**	**NOSE (/100)**
SNPC-F N°1	22	76	75
SNPC-F N°2	11	62	60
SNPC-F N°3	20	93	75
SNPC-F N°4	24	87	70
SNPC-F N°5	27	90	80
Moyenne du score	**20,80**	**81,60**	**72,00**

Tableau 2 : Scores des patients SNPC-F aux auto-questionnaires

3.3.2. Corrélation CFD – questionnaires

Les résultats des tests de corrélation de Spearman sont donnés dans le tableau suivant (Tableau 3) :

	ENS-6Q	SNOT-25	NOSE
ENS-6Q		rs = 0,4, p = 0,52	rs = 0,67 p = 0,22
SNOT-25	rs = 0,4, p = 0,52		rs = 0,67 p = 0,22
NOSE	rs = 0,67 p = 0,22	rs = 0,67 p = 0,22	
Résistances nasales	**rs = -1** **p = 0,017**	rs = -0,4 p = 0,52	rs = -0,67 p = 0,22
Vitesse maximale	rs = -0,5 p = 0,45	rs = 0,4 p = 0,52	rs = -0,1 p = 0,87
Vitesse au pharynx	rs = 0,6 p = 0,35	rs = -0,3 p = 0,68	rs = 0,41 p = 0,49
Peak WSS	rs = 0,67 p = 0,22	rs = -0,21 p = 0,74	rs = 0,53 p = 0,36
Débit au couloir inférieur	rs = -0,3 p = 0,68	rs = 0,1 p = 0,95	rs = -0,62 p = 0,27
Température moyenne des fosses nasales	rs = -0,6 p = 0,35	rs = -0,8 p = 0,13	**rs = -0,98** **p = 0,004**
Température moyenne dans le couloir inférieur	p = 1	rs = -0,7 p = 0,23	rs = -0,72 p = 0,17
Vitesse moyenne des fosses nasales	rs = 0,9 p = 0,83	rs = -0,7 p = 0,23	rs = 0,67 p = 0,22
Vitesse moyenne dans le couloir inférieur	rs = 0,2 p = 0,78	rs = 0,9 p = 0,083	rs = 0,41 p = 0,41

Tableau 3 : Test de corrélation de Spearman entre CFD et questionnaires
En gras, les résultats statistiquement significatifs (p<0.05)

3.3.3. Distribution du débit inspiratoire

Le débit moyen ± écart type d'air inspiré chez les sujets avec SNPC-F était de 1076 ± 414 mL/s, contre 808 ± 286 mL/s chez les sujets sains. La figure 18 montre la répartition en pourcentage du débit moyen d'air inspiré entre les couloirs inférieurs, moyens et supérieurs. La comparaison entre les deux groupes a retrouvé une augmentation significative du pourcentage d'air circulant dans le couloir inférieur chez les patients SPNC-F (56% contre 31%, p<0.05), et une réduction significative du pourcentage d'air circulant dans le couloir moyen chez ces patients (40% contre 60%, p<0.05).

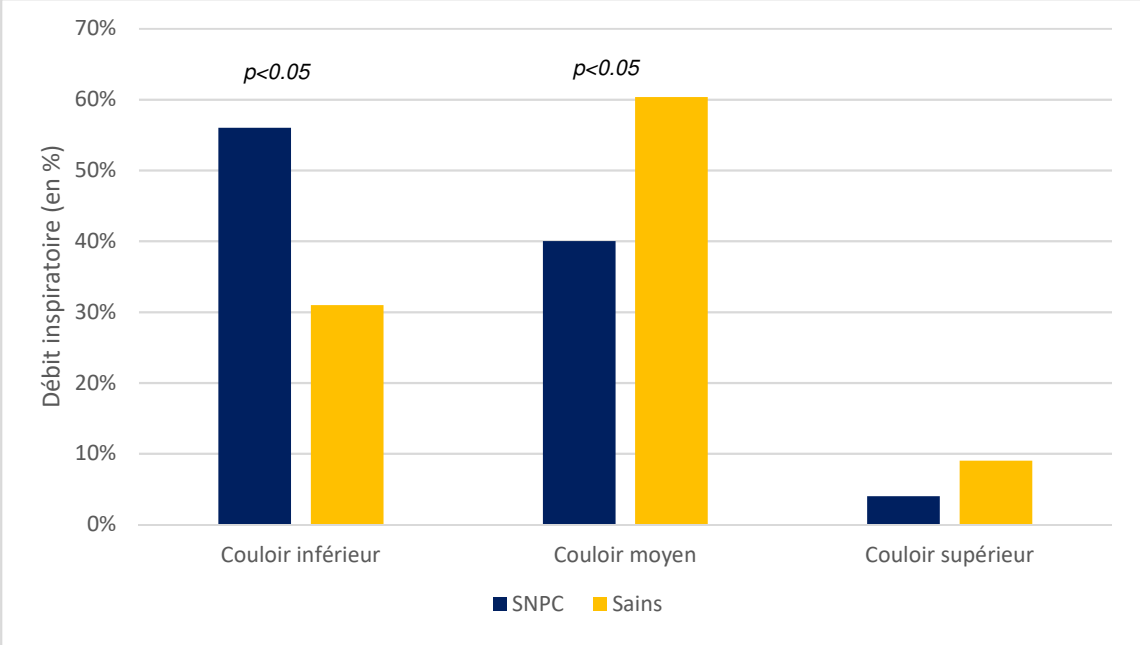


Figure 18 : Distribution du débit d'air inspiré

L'étude des lignes de courant ou streamlines a retrouvé la présence de vortex dans les couloirs inférieurs des cinq patients avec SNPC-F, formations qui n'étaient pas observées chez les sujets sains. (Figure 19)

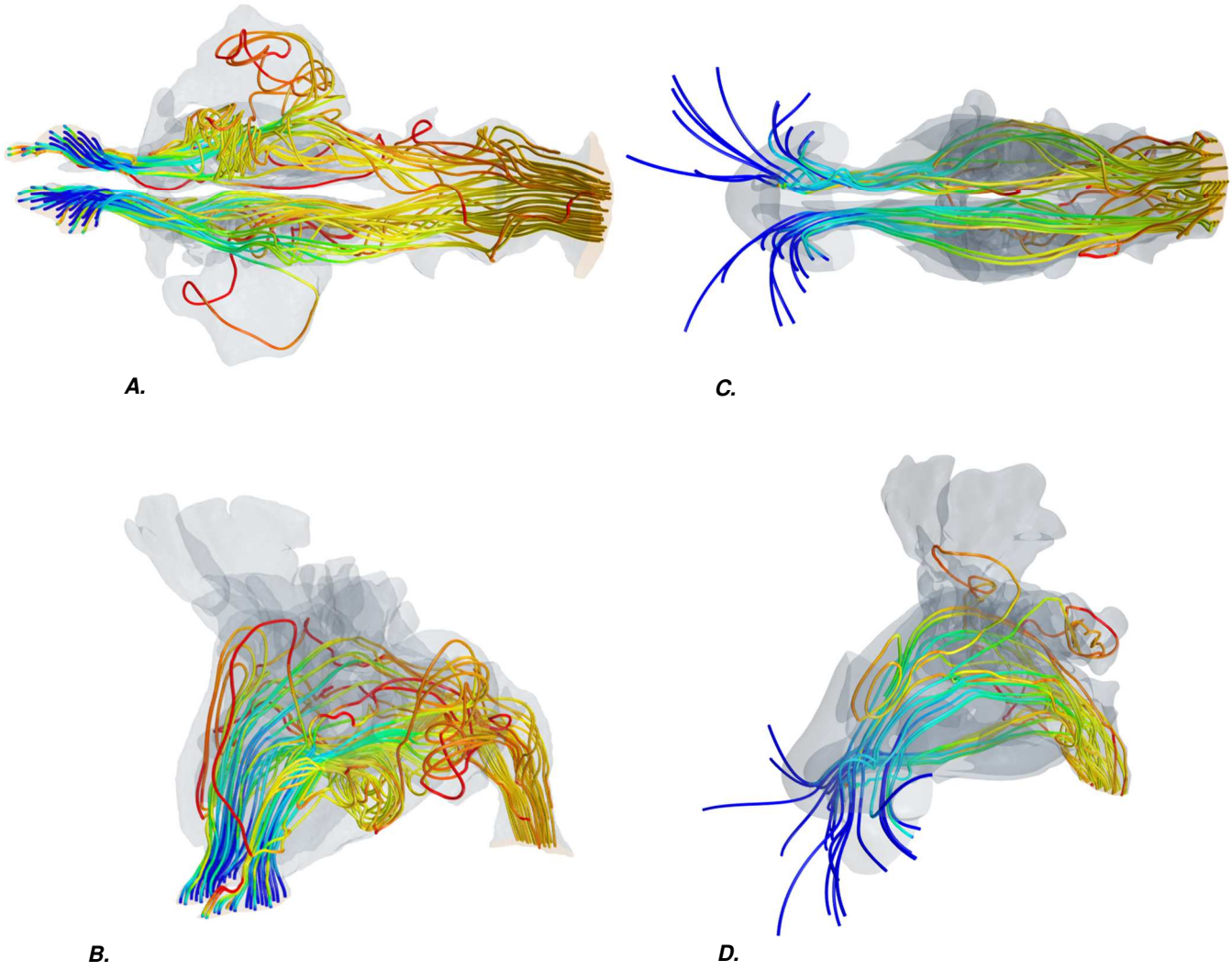


Figure 19 : Streamlines d'un sujet SNPC-F et d'un sujet sain

A. Sujet SPNC-F N°2, Vue inférieure
B. Sujet SNPC-F N°2, Vue antéro-latérale gauche
C. Sujet sain N°5, Vue inférieure
D. Sujet sain N°5, Vue antéro-latérale gauche

3.3.4. Températures

Les températures moyennes ont été calculées sur les neuf cross sections de chaque sujet (Figure 20).

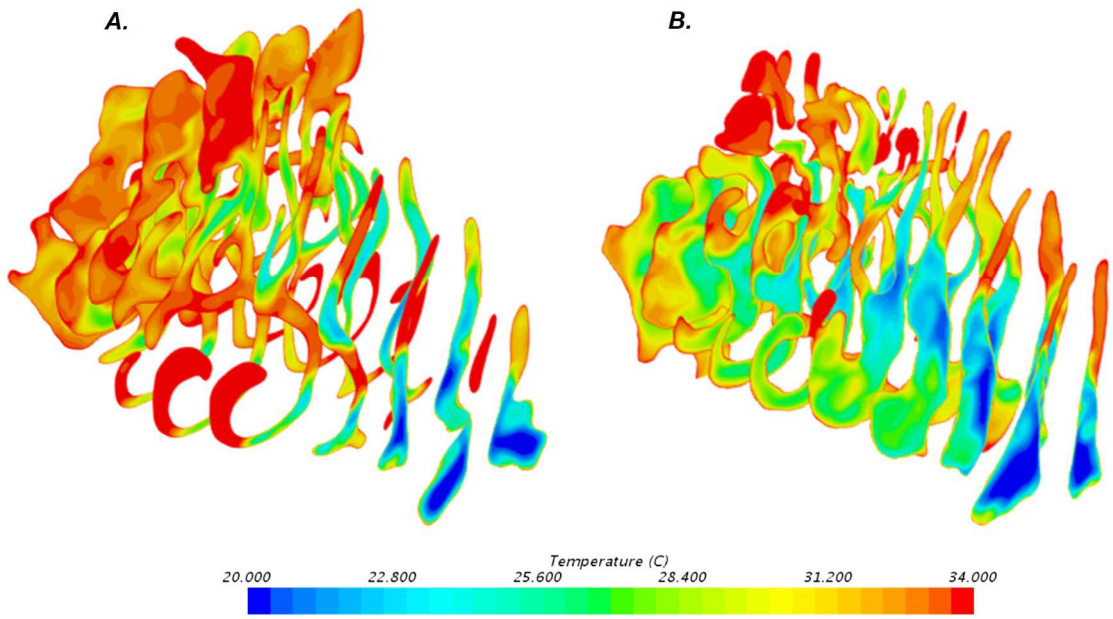


Figure 20 : Cross sections - températures

A. Sujet sain N°5
B. Sujet SNPC-F N°5

Nous avons retrouvé une corrélation très forte chez les sujets SNPC-F entre le score NOSE et la valeur de température moyenne de l'ensemble de la fosse nasale (r_s = -0.9747, p=0.005).

Nous avons observé des températures plus basses chez les sujets SNPC-F à partir de la 5ème cross section, jusqu'à la 9ème cross section (qui correspond au rhinopharynx). ($p<0.05$). (Figure 21)

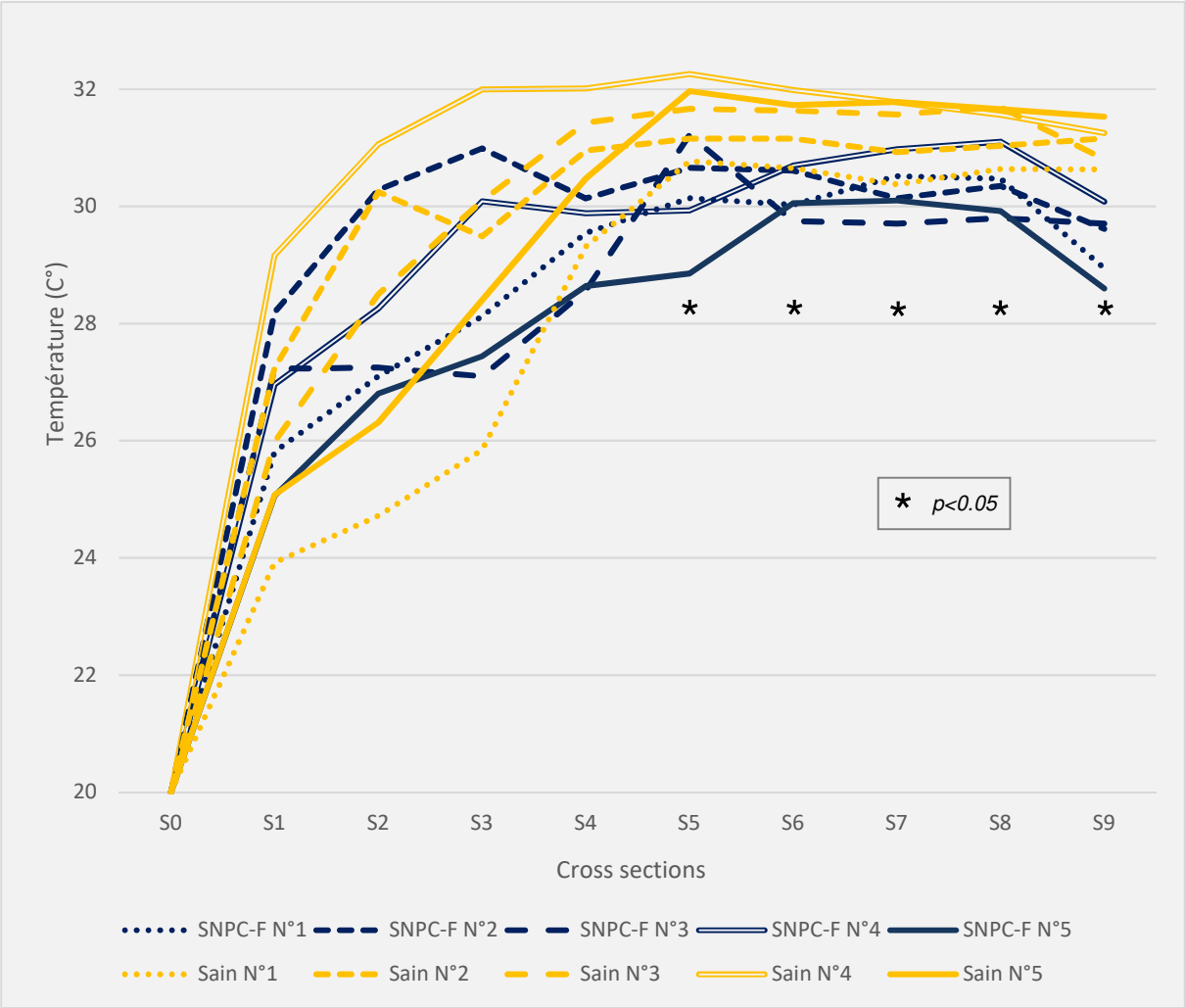


Figure 21 : Températures moyennes sur les cross sections des sujets sains (en jaune) et SNPC-F (en bleu)
Les cross sections où les différences apparaissent significatives sont marquées d'un astérisque

Nous avons également calculé les températures moyennes dans les couloirs inférieur, moyen et supérieur, dans les cross sections N°4, 5, 6 et 7. (Figure 22). La température dans le couloir inférieur des sujets présentant un SNPC-F était plus basse que chez les sujets sains, de façon statistiquement significative dans les cross sections N° 5, 6 et 7 ($p<0.05$).

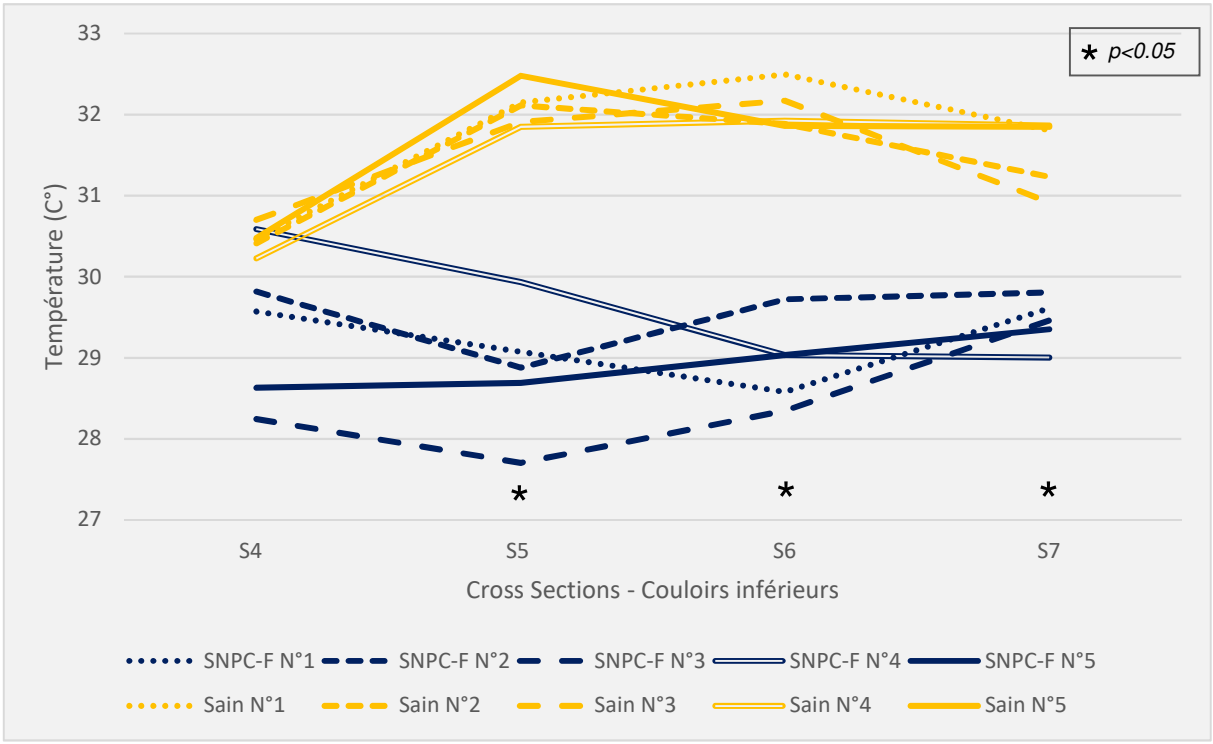


Figure 22 : Températures moyennes au couloir inférieur chez les sujets sains (en jaune) et SNPC-F (en bleu)
Les cross sections où les différences apparaissent significatives sont marquées d'un astérisque

3.3.5. Vitesse

Les vitesses moyennes ont été calculées sur les 9 cross sections de chaque sujet (Figure 23)

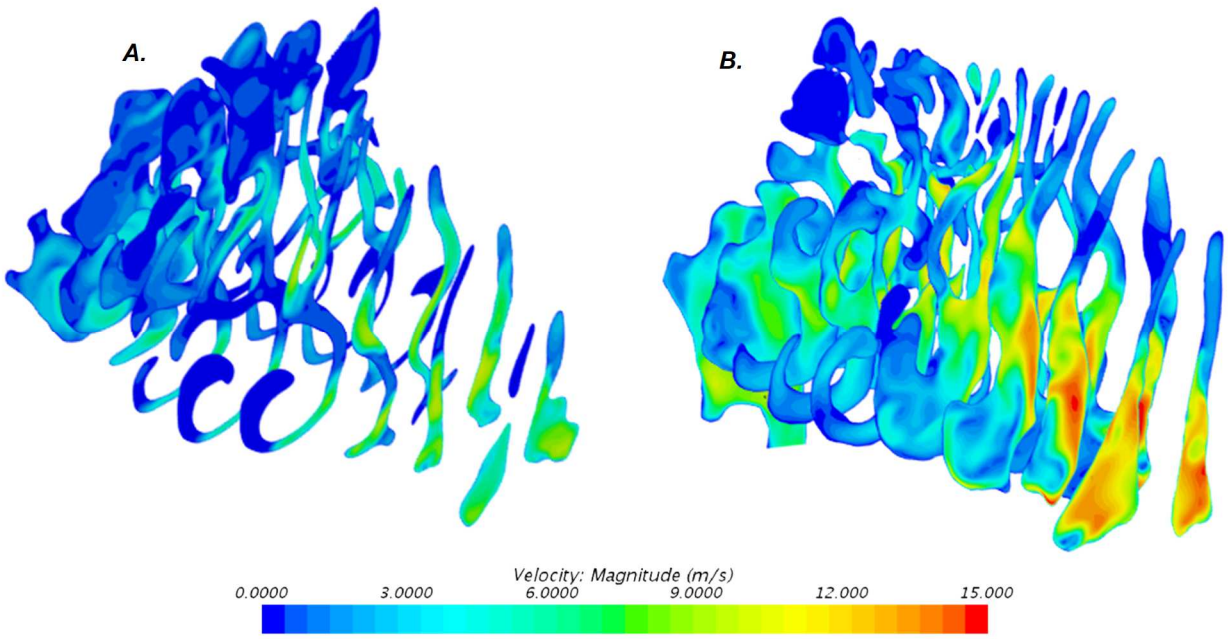


Figure 23 : Cross sections - températures

A. Sujet sain N°5
B. Sujet SNPC-F N°5

L'étude des vitesses a mis en évidence des vitesses plus élevées dans les cross sections S5 et S6 des sujets SNPC-F que chez les sujets sains ($p<0.05$) (Figure 24).

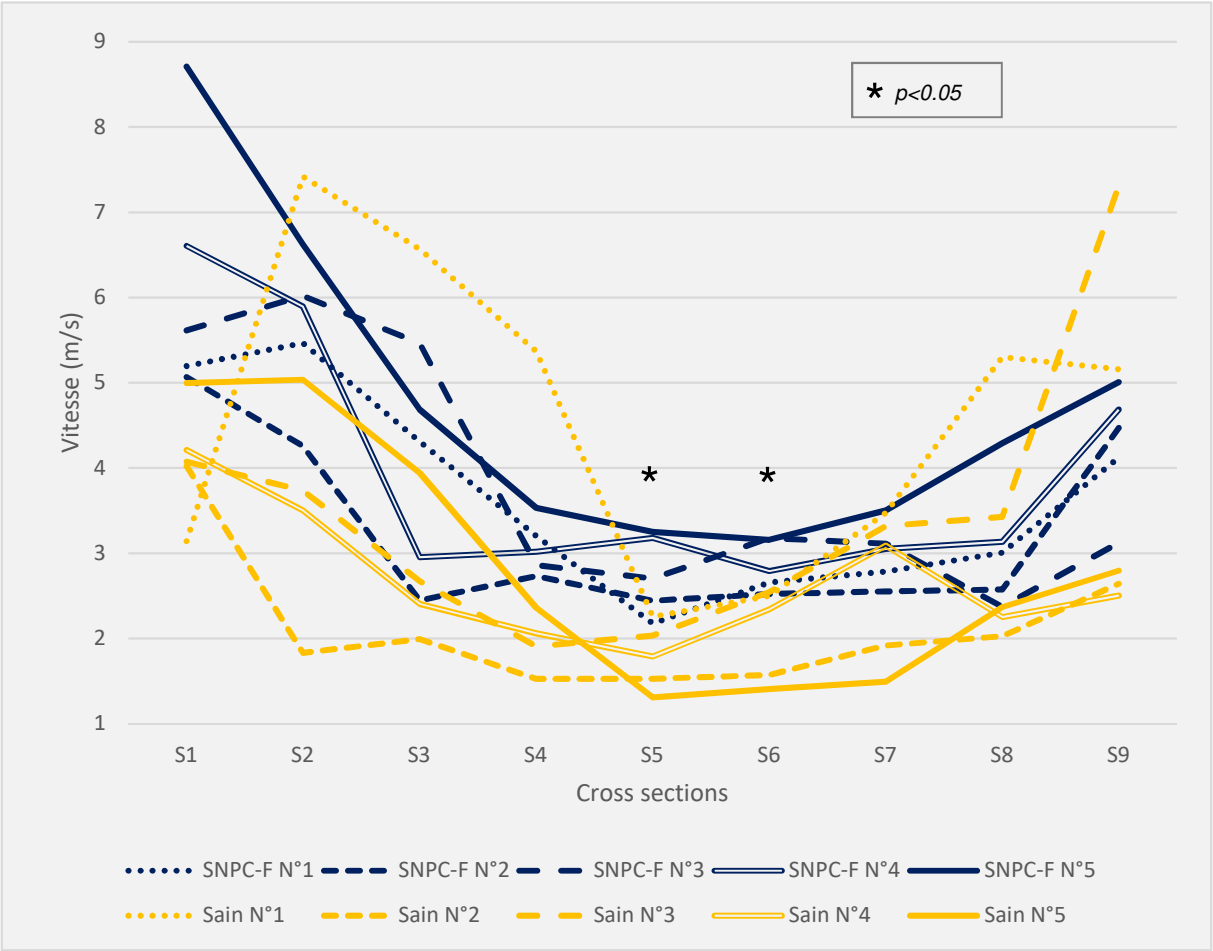


Figure 24 : Vitesses moyennes sur les cross sections des sujets sains et SNPC-F
Les cross sections où les différences apparaissent significatives sont marquées d'un astérisque

Plus spécifiquement, dans le couloir inférieur, la vitesse était plus élevée chez les sujets présentant un SNPC-F que chez les sujets sains, de façon statistiquement significative sur les cross sections S5 et S6. ($p<0.05$) (Figure 25)

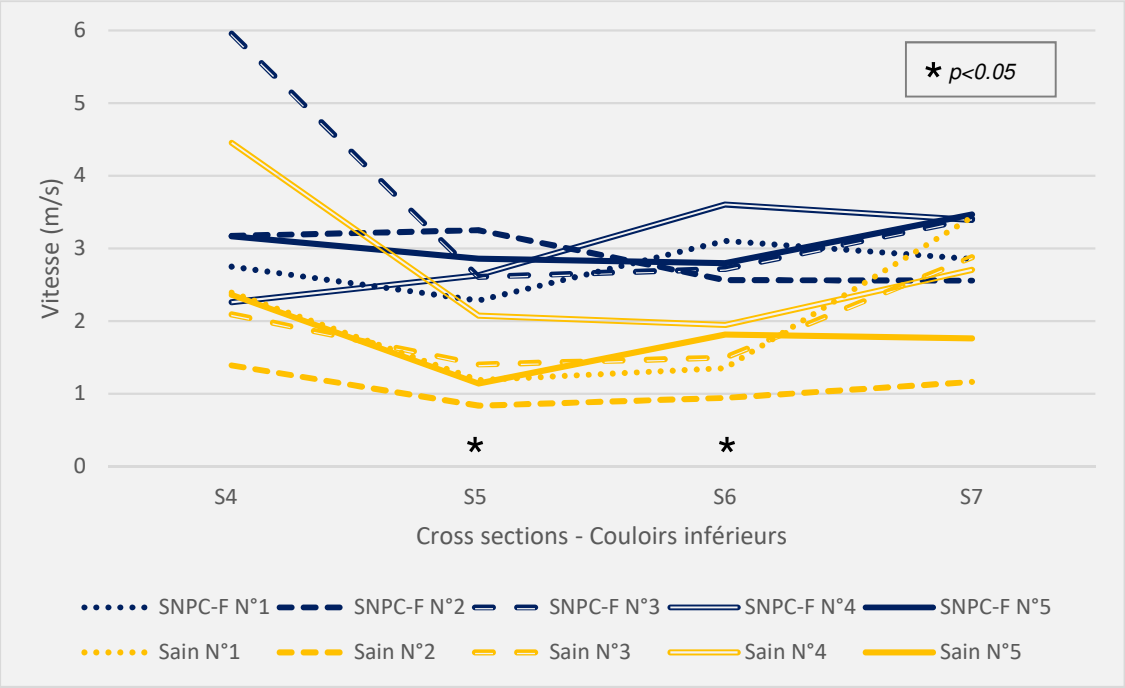


Figure 25 : Vitesses moyennes dans le couloir inférieur chez les sujets sains et SNPC-F
Les cross sections où les différences apparaissent significatives sont marquées d'un astérisque

Enfin, les vitesses maximales observées dans les fosses nasales des sujets SNPC-F étaient significativement plus élevées que celles observées chez les sujets sains (15.8 ±1.89 m/s contre 11.9 ± 2.8 m/s respectivement, $p<0.05$)

3.3.6. Pression Totale

Concernant la pression totale, celle-ci a également été étudiée en réalisant une moyenne sur les neuf cross sections. (Figure 26)

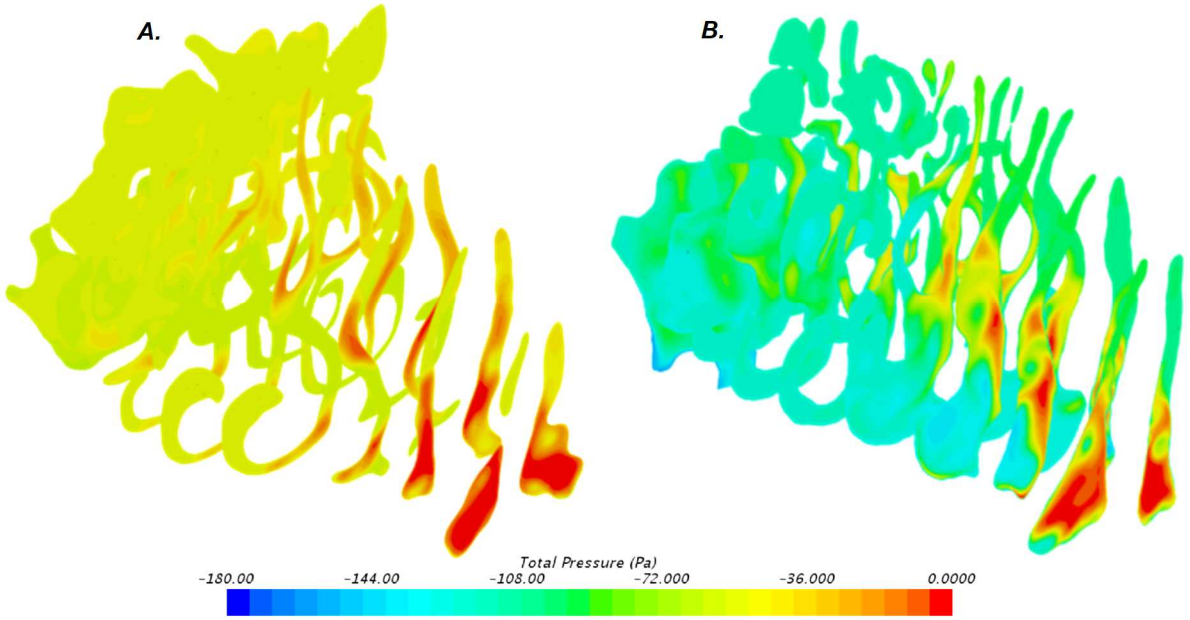


Figure 26 : Cross sections – Pression totale

A. Sujet sain N°5
B. Sujet SNPC-F N°5

Sur une analyse visuelle colorimétrique, la pression totale semblait plus basse chez les sujets avec SNPC-F, néanmoins nous n'avons pas observé de différence statistiquement significative en termes de pression totale entre les deux groupes de sujets (Figure 27).

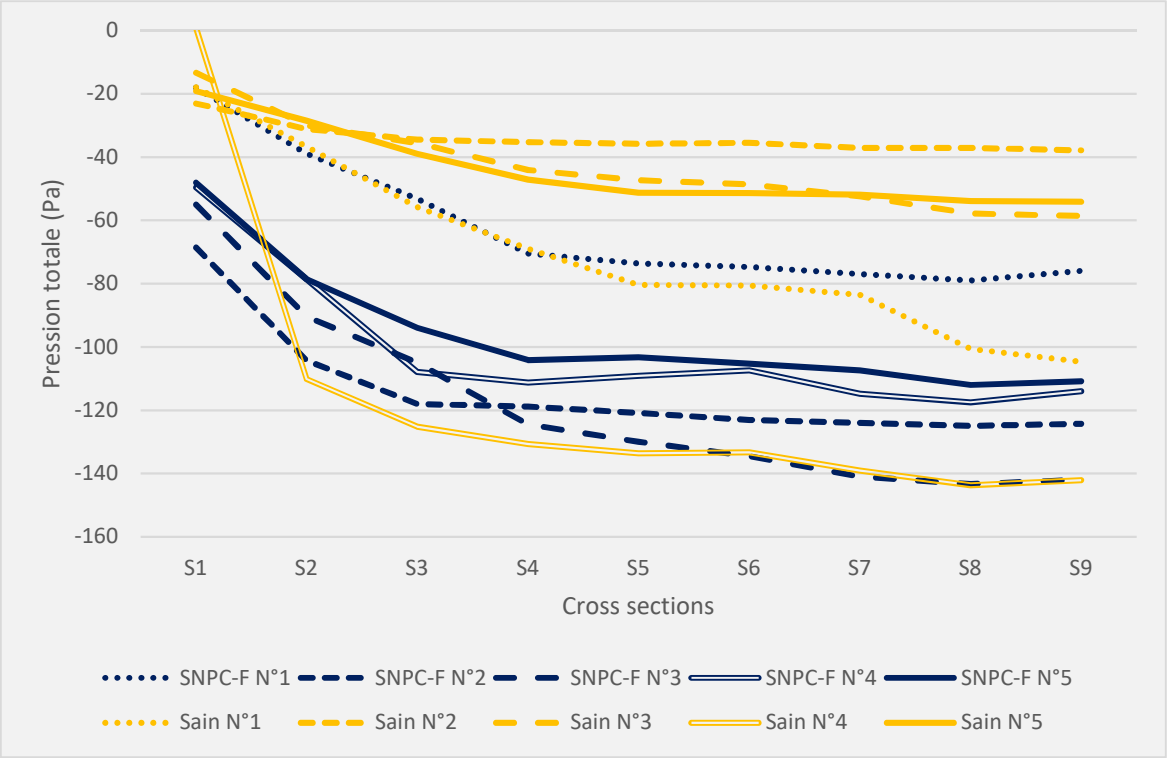


Figure 27 : Pression Totale sur les cross sections des sujets sains et SNPC-F

Le sujet sain N°4 présentait des valeurs plus basses de pression totale que les autres sujets sains, semblables à celles des sujets SNPC-F. Ce sujet, bien qu'asymptomatique (pas d'obstruction nasale notamment), présentait une déviation septale très antérieure au scanner suspectée d'être responsable d'une chute des pressions dans la fosse nasale incriminée. Nous avons donc réalisé un nouveau test statistique sujets SNPC-F versus sujets sains en excluant le sujet N°4 de cette analyse. Nous avons alors mis en évidence une pression totale plus basse chez les sujets SNPC-F de façon statistiquement significative sur l'ensemble des neuf cross sections ($p<0.05$).

3.3.7. Wall Shear Stress

Chez les sujets SNPC-F, l'étude visuelle colorimétrique met en évidence un WSS plus bas dans la région du couloir inférieur que chez les sujets sains (Figure 28).

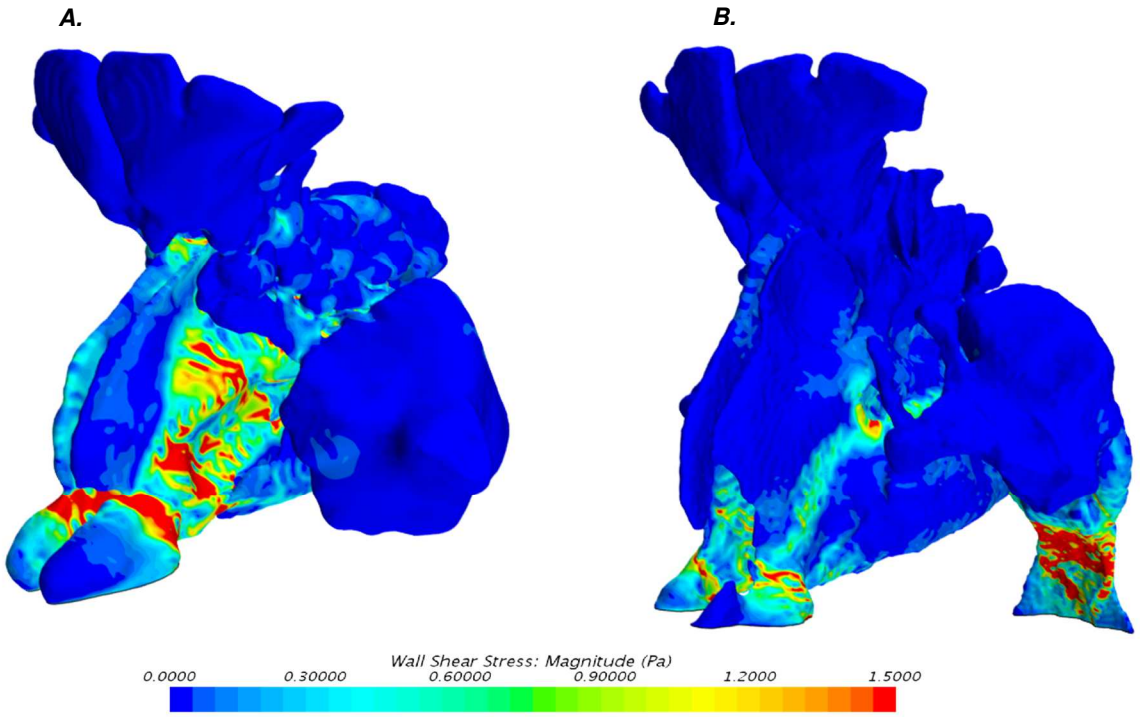


Figure 28 : Wall Shear Stress – vue antérolatérale gauche

A. Sujet sain N°1
B. Sujet SNPC-F N°2

Nous avons relevé les maxima de contrainte de cisaillement observées dans le couloir inférieur (Peak WSS), dans les fosses nasales droite et gauche. Même si les sujets SNCP-F semblaient présenter des valeurs de Peak WSS plus basses que les sujets sains, il n'existait pas de différence statistiquement significative entre les deux groupes (Figure 29).

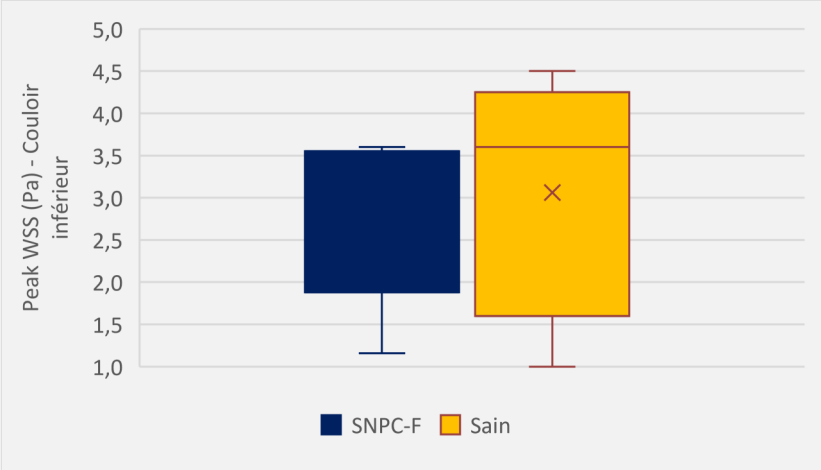


Figure 29 : Peak WSS dans le couloir inférieur

3.3.8. Résistances nasales

Les résistances nasales ont été calculées en faisant le rapport entre la différence de pression entre la narine droite et le pharynx, et le débit mesuré à l'entrée de la narine droite, selon le principe de la rhinomanométrie.

Tous les sujets présentaient des résistances nasales inférieures à 0.3 Pa/mL/s, et il n'a pas été mis en évidence de différence statistiquement significative entre les deux groupes.

En revanche, une corrélation parfaite a été mise en évidence entre le score ENS-6Q et les résistances nasales ($r_s = 1$, $p<0.05$) chez les sujets SNPC-F.

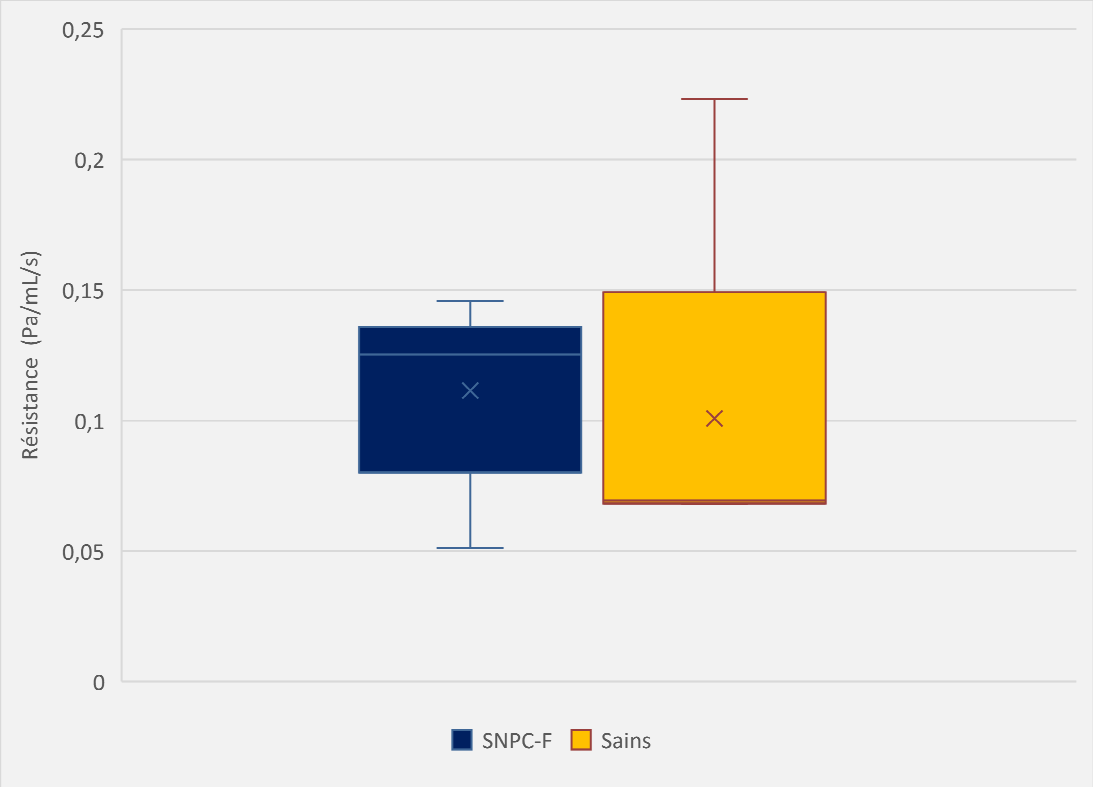


Figure 30 : Résistances nasales

3.4. Discussion

L'objectif de ce travail était double : d'une part, étudier la corrélation entre la symptomatologie des patients SNPC-F et les variables mesurées en CFD, et d'autre part, comparer les résultats de CFD d'une population de sujets SNPC-F à une population de sujets sains.

Concernant notre premier objectif, nous n'avons pas mis en évidence de corrélation inter-questionnaires. Cette absence de corrélation pourrait être due à une puissance statistique insuffisante, mais elle pourrait également suggérer une bonne complémentarité des questionnaires entre eux. Par ailleurs, nous avons retrouvé une très bonne corrélation entre l'ENS-6Q et les résistances nasales à l'inspiration ($r_s = 1$, $p<0.05$), ainsi qu'entre le NOSE et la température moyenne de la fosse nasale ($r_s = -0.9747$, $p=0.005$) chez les sujets SNPC-F. Des études antérieures avaient déjà suggéré l'existence d'une corrélation entre les scores cliniques et les paramètres de CFD chez les sujets SNV, notamment entre le Peak WSS relevé dans le couloir inférieur et l'ENS-6Q[17]. Dans notre travail, des paramètres de CFD semblaient présenter une corrélation avec les auto-questionnaires, sans toutefois être statistiquement significatif, probablement par manque de puissance statistique en raison d'un faible nombre de sujets inclus, citons, par exemple l'ENS-6Q et le Peak WSS ($r_s = 0.67$, $p = 0.218$), l'ENS-6Q et la vitesse moyenne dans la fosse nasale ($r_s = 0.9$, $p=0.08$) le SNOT-25 et la température moyenne des fosses nasales ($r_s = -0.8$, $p = 0.13$), ou encore le SNOT-25 et la vitesse moyenne dans le couloir inférieur ($r_s = 0.9$, $p = 0.083$).

Concernant notre second objectif, nous avons confirmé les résultats que nous suspections dans notre étude préliminaire. Nous avons mis en évidence des températures significativement plus basses chez les sujets présentant un SNPC-F, dès la 5ème cross section, jusqu'à la dernière (qui correspond au rhinopharynx), ainsi que plus spécifiquement dans le couloir inférieur. L'air étant à 20°C à l'entrée de la fosse nasale de tous nos sujets, cette divergence des températures entre les sujets sains et SNPC-F qui se produit à la partie postérieure de la fosse nasale nous confirme le mauvais réchauffement de l'air en l'absence de structure turbinale inférieure. La vitesse est également plus grande dans ces zones chez ces patients. Ces observations sont concordantes avec les résultats de la littérature[9,13].

Les résistances nasales à l'inspiration ne sont pas statistiquement significativement différentes entre les deux groupes, comme cela avait pu être mis en évidence dans d'autres études qui retrouvaient des résistances plus basses chez les sujets SNV.[6,9,16,17] Ceci pourrait être lié à une faible puissance statistique découlant de la petite taille de l'échantillon. On notera toutefois que les résistances nasales des sujets sains sont également basses, inférieures à 0.3 Pa/mL/s, ce qui confirme de façon objective l'absence d'obstruction nasale chez ces sujets sains, comme suspecté à l'interrogatoire.

L'étude des débits a mis en évidence une augmentation du débit d'air dans le couloir inférieur chez les sujets présentant un SNPC-F, avec une diminution du débit dans le couloir moyen. Le débit volumique étant, par définition, proportionnel à la section et à la vitesse, cette augmentation du débit au couloir inférieur n'est donc pas surprenante chez les SNPC-F. Cette augmentation de débit dans le couloir inférieur s'accompagne, de plus, d'une baisse de la contrainte de cisaillement à la paroi (Peak WSS). Ici encore, cette diminution de la contrainte de cisaillement dans le couloir inférieur n'est pas étonnante, car elle est, par définition, inversement proportionnelle à l'aire de section. Ces observations sont concordantes avec les résultats observés dans la littérature[6,9,13,16,17,27], et sont soupçonnées d'être responsable, au moins en partie, de la symptomatologie exprimée par les patients souffrant d'un SNPC-F. En effet, il en résulte une diminution des interactions entre l'air et la muqueuse dans le couloir inférieur, et donc un moins bon conditionnement de l'air parvenant au pharynx.

L'étude des streamlines a retrouvé la présence de vortex dans le couloir inférieur chez les cinq sujets SNPC-F que nous avons étudié. Ceci a déjà été observé dans d'autres études antérieures[6,9], et pourrait expliquer le phénomène de crustation très fréquemment observé dans le SNPC-F, par une plus grande sécheresse de la muqueuse en regard.

Concernant la Pression Totale, nous n'avons pas pu mettre en évidence de différence statistiquement significative. Néanmoins, l'un de nos sujets sains (le sujet sain N°4) présentait une baisse globale de la pression totale, car la pression totale de l'une de ses deux fosses nasales était quasi-nulle en raison d'une déviation septale très antérieure. Ce sujet ne se plaignait pourtant pas d'obstruction nasale. Il est bien connu que la respiration peut être ressentie comme normale en se faisant sur une

seule narine, en effet en pratique clinique il est fréquent qu'aucune gêne respiratoire ne soit exprimée quand un patient présente une fosse nasale obstruée mais que l'autre reste totalement perméable. Chez nos sujets SNPC-F, en revanche, la baisse de pression totale était bilatérale. Après nouvelle analyse statistique en excluant le sujet sain N°4, la pression totale était d'ailleurs significativement plus basse chez les SNPC-F que chez les autres sujets sains sur l'ensemble des neuf cross sections.

Concernant l'étude du Wall Shear Stress, nous avons choisi de relever les Peak WSS (valeurs les plus importantes) dans le couloir inférieur. Cette méthode d'analyse n'est probablement pas la meilleure, en effet la contrainte de cisaillement étant une force mécanique appliquée à la paroi, il aurait été plus représentatif d'analyser une moyenne sur l'ensemble de la paroi des couloirs inférieurs. Malheureusement, nous n'avons pas été en mesure techniquement de réaliser cela sur le logiciel de CFD que nous avons utilisé (cf 1.3.3). Parvenir à réaliser cette mesure moyenne constitue bien évidemment un objectif pour nos futures études de CFD.

Enfin, l'hygrométrie est un paramètre important, qu'il nous semble important de parvenir à étudier dans de prochaines études lorsque le modèle de CFD que nous utilisons le permettra. En effet, Zhao et al. ont démontré que l'humidité de l'air influence de manière significative la sensation de perméabilité nasale. Plus que l'air froid, ce serait le refroidissement de la muqueuse (majorée en cas d'hygrométrie élevée) que l'individu percevrait[15,28].

L'une des difficultés concernant la chirurgie fonctionnelle naso-sinusienne est la difficulté à objectiver la symptomatologie exprimée par le patient. L'utilisation d'auto-questionnaires, subjectifs par définition, est à ce jour le gold standard. Les tests objectifs utilisables en pratique clinique sont peu nombreux, comme par exemple la rhinomanométrie, qui reste encore controversée pour certains, et qui surtout n'évalue que l'obstruction nasale, qui n'est que l'un des nombreux symptômes exprimés dans le SNPC-F.

Le développement de techniques telles que la CFD pourrait fournir une nouvelle méthode d'évaluation objective de la symptomatologie des patients. Un autre avantage de la CFD est qu'elle permet une analyse du conditionnement de l'écoulement d'air nasal, et ainsi cette technique permet de mieux comprendre la physiopathologie du

SNPC, qui reste à ce jour controversée. Elle permet notamment d'étudier des paramètres inaccessibles en pratique clinique courante, tels que le Wall Shear Stress ou encore Pression Totale.

3.5. Conclusion

Dans cette étude comparative en CFD portant sur cinq patients atteints de SNPC-F, nous avons pu mettre en évidence l'existence d'une corrélation entre certaines variables de CFD et la symptomatologie exprimée par les patients. Nous avons également démontré que chez les sujets SNPC-F, lors de l'inspiration, le débit d'air dans le couloir inférieur est majoré (au détriment des couloirs moyen et supérieur), avec accélération de l'écoulement, formation de vortex, diminution de la température, de la contrainte de cisaillement et de la pression totale. Ces paramètres témoignent du mauvais conditionnement de l'air dans le couloir inférieur pouvant être à l'origine de tout ou partie de la symptomatologie exprimée par les patients souffrant d'un SNPC-F.

Concernant la prise en charge du SNPC-F, une réhabilitation chirurgicale est proposée par quelques équipes, avec de bons résultats en termes de qualité de vie et d'amélioration de la symptomatologie exprimée par les patients. Néanmoins, à ce jour, aucune étude n'a étudié les effets objectifs de ces chirurgies de réhabilitation. Il serait donc intéressant de poursuivre nos travaux de CFD dans le domaine de la réhabilitation chirurgicale du SNPC-F, dans l'optique d'une prise en charge optimale pour chaque patient.

Points clés

- Le Syndrome Nasal Post-Chirurgical (SNPC) peut survenir dans les suites d'une chirurgie endonasale, fonctionnelle (SNPC-F, également appelé SNV dans la littérature) ou carcinologique (SNPC-C), particulièrement après turbinectomie (inférieure et/ou moyenne) lorsqu'elle est radicale.
- Le SNPC regroupe un cortège varié de symptômes d'inconfort nasal, parmi lesquels une obstruction nasale paradoxale (sans cause évidente retrouvée à l'examen clinique et non détectée par la rhinomanométrie).
- La simulation numérique des écoulements (CFD) est une technique récente qui a permis de faire émerger de nouvelles hypothèses concernant la physiopathologie du SNPC.
- Dans cette étude, nous avons comparé les paramètres en CFD de cinq patients présentant un SNPC-F à ceux de cinq sujets sains, et recherché une corrélation entre ces variables et la symptomatologie des patients.
- Les cinq sujets SNPC-F présentaient des scores élevés aux auto-questionnaires validés dans l'évaluation de l'obstruction nasale et du nez vide : NOSE, SNOT-25 et ENS-6Q. Les questionnaires n'étaient pas corrélés entre eux, suggérant leur bonne complémentarité.
- Nous avons observé que chez tous les sujets SNPC-F, lors de l'inspiration, le débit d'air dans le couloir inférieur est majoré (au détriment des couloirs moyen et supérieur), avec accélération de l'écoulement, formation de vortex, diminution de la température, du Wall Shear Stress et de la pression totale.
- Il existe un mauvais conditionnement de l'air dans le couloir inférieur pouvant être à l'origine de tout ou partie de la symptomatologie exprimée par les patients souffrant d'un SNPC-F.

4. CHIRURGIE VIRTUELLE : APPORT DE LA CFD DANS LE TRAITEMENT DU SNPC

4.1. Introduction

Comme nous l'avons montré précédemment, le mauvais conditionnement de l'air dans le couloir inférieur pourrait être à l'origine de tout ou partie de la symptomatologie exprimée par les patients souffrant d'un SNPC-F.

Si la physiopathologie du SNPC-F commence à être mieux comprise, sa prise en charge, en revanche, n'est pas codifiée, et reste décevante. De nombreux traitements médicaux sont souvent proposés, basés sur la prise en charge de la rhinite atrophique, associant lavage de nez, corticoïdes en aérosols ou en application locale, antibiothérapie locale. Néanmoins, bien qu'indispensable et recommandé en première intention, le traitement médical semble n'avoir qu'une efficacité modérée et moindre que dans la rhinite atrophique[2].

Récemment, quelques équipes ont décrit des techniques de réhabilitation chirurgicale[29–37]. Le principe est de positionner un implant sous la muqueuse de la fosse nasale (en regard du septum nasal, de la cloison inter-sinuso-nasale, et/ou du plancher de la fosse nasale), afin de réduire le volume de la cavité nasale et donc d'augmenter la résistance à l'écoulement d'air nasal et la surface d'échange thermique.

La réhabilitation chirurgicale du SNPC semble prometteuse[29] avec une bonne amélioration des scores subjectifs de bien-être nasal tels que le SNOT-22 ou le SNOT-25, le NOSE ou encore le RhinoQol., mais sans possibilité d'évaluation objective.

Des travaux de chirurgie virtuelle ont déjà été réalisés par certaines équipes dans le domaine de la chirurgie fonctionnelle endonasale. Dans leur étude, Frank-Ito et al.[38] ont appliqué un protocole de CFD chez 10 patients ayant chacun eu une chirurgie fonctionnelle. Les analyses ont porté sur les scanners pré opératoires modifiés par chirurgie virtuelle et sur les scanners post opératoires de la chirurgie réalisée. Ils ont conclu que la chirurgie virtuelle offrait une bonne prédiction des résultats post-opératoires, avec toutefois une variabilité liée à l'imprécision dans la

transcription de la chirurgie virtuelle par rapport à la véritable chirurgie. Leur travail représente toutefois une étude de faisabilité.

Dans ce chapitre nous avons tenté d'objectiver les résultats de la réhabilitation chirurgicale du SNPC-F grâce à une technique de chirurgie virtuelle en CFD.

4.2. Matériel et Méthode

4.2.1. Sujets inclus

Les trois sujets inclus étaient suivis pour un SNPC-F dans le service d'ORL du CHU de la Conception à Marseille, et des stigmates de chirurgies nasosinusiennes étaient retrouvés à l'examen physique et sur le scanner des sinus.

4.2.1.1. Sujet N°1

Il s'agit d'une femme de 25 ans ayant été opérée d'une rhino-septoplastie avec turbinectomie inférieure totale bilatérale dans un autre centre (persistance d'un reliquat turbinal inférieur gauche à sa partie très postérieure).

Depuis l'intervention elle se plaint d'obstruction nasale, de pesanteur nasale, de brûlure lors de la respiration, de croûtes, et de rhinorrhée postérieure.

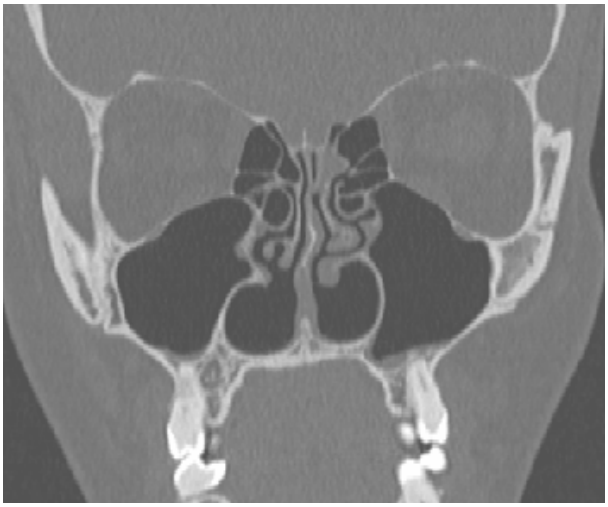


Figure 31 : TDM en coupe coronale - Sujet N°1

4.2.1.2. Sujet N°2

Il s'agit d'un homme de 34 ans ayant été opéré d'une septoplastie et d'une turbinectomie inférieure partielle antérieure bilatérale dans un autre centre. Depuis l'intervention il présente une hyper-réactivité aux odeurs, des douleurs nasales à type de brûlures, une alternance de sensation de nez bouché et d'hyperventilation, une sensation de rhinorrhée postérieure et des croûtes à l'entrée des fosses nasales.

Figure 32 : TDM en coupe coronale - Sujet N°2

4.2.1.3. Sujet n°3

Il s'agit d'une patiente de 34 ans ayant été opérée dans un autre centre d'une turbinectomie inférieure totale bilatérale et d'une méatotomie moyenne bilatérale. Cliniquement elle présente une obstruction nasale, une rhinorrhée postérieure chronique, et des croûtes dans les fosses nasales.

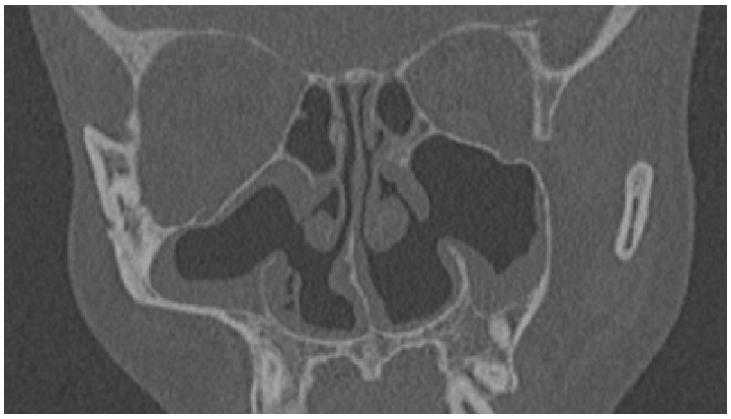


Figure 33 : TDM en coupe coronale - Sujet N°3

4.2.2. Modélisation géométrique

Une reconstruction 3D des cavités aériques naso-sinusiennes de chaque sujet a été réalisée en utilisant le logiciel de segmentation semi-automatique d'images ITK-SNAP, selon les modalités techniques décrite en 1.3.

4.2.3. Protocole de chirurgie virtuelle

Pour chacun des trois sujets inclus nous avons, par la suite, réalisé des essais de corrections chirurgicales virtuelles, en créant un volume à l'intérieur de la fosse nasale, volume qui pourrait correspondre en pratique à une pose d'implant ou une injection de matériel de comblement.

Pour cela, une fois la segmentation réalisée, un outil « pinceau » était utilisé pour « effacer » une zone à l'intérieur de la segmentation.

L'essai 1 correspondait à dessiner un implant qui serait positionné au niveau de la cloison inter-sinuso-nasale.

Dans l'essai 2 l'implant était positionné sur le septum, en face du reliquat de cornet inférieur.

Enfin, dans l'essai 3, une formation arrondie était dessinée à la partie antérieure du septum nasal, qui pourrait correspondre à ce qui serait obtenu en injectant un matériel de comblement de type graisse ou acide hyaluronique.

Les modifications ont été réalisées sur les deux fosses nasales pour chaque sujet, et les essais 1, 2 et 3 ont été réalisés pour chaque sujet (Figure 34).

Nous avons réalisé une première série de mesures, puis nous avons refait une deuxième série de mesures après avoir augmenté la taille de l'implant. Nous appellerons ces essais respectivement « essai en petit volume » et « essai en grand volume ».

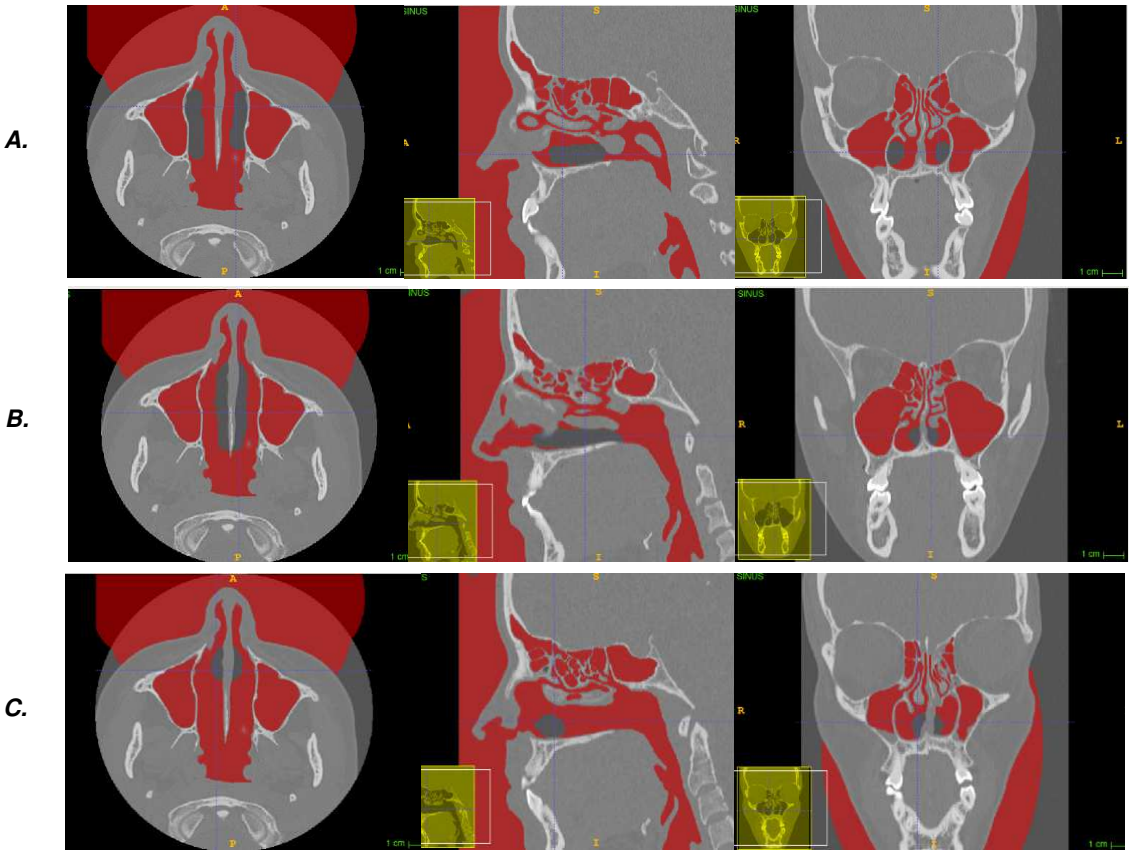


Figure 34 : Chirurgie virtuelle.

A. ESSAI 1 : Un implant (en noir) est matérialisé au niveau de la cloison intersinusonasale
B. ESSAI 2 : Un implant (en noir) est matérialisé au niveau du septum nasal
C. ESSAI 3 : Matérialisation d'une injection de produit de comblement (en noir) au niveau du septum

4.2.4. Etude en simulation numérique des écoulements

Pour chaque sujet étaient ainsi obtenus quatre maillages surfaciques 3D dans ITK-SNAP (fichier au format .STL), qui étaient ensuite importés dans STAR-CCM+. Les calculs de CFD étaient réalisés selon les modalités techniques décrites en 1.3.

4.2.5. Variables de CFD étudiées

Les variables étudiées étaient les streamlines, la vitesse, la température, les résistances nasales, le Wall Shear Stress (WSS), la répartition du débit inspiratoire, et la pression totale, selon les modalités décrites en 1.3.

Nous avons analysé les modifications de ces paramètres par une évaluation visuelle colorimétrique, sans réaliser de calculs statistiques, en raison d'une puissance statistique insuffisante liée au faible nombre de sujets inclus.

4.3. Résultats

4.3.1. Auto-questionnaires

Les résultats des sujets aux auto-questionnaires sont donnés dans le tableau suivant (Tableau 4) :

	ENS-6Q (/30)	SNOT-25 (/125)	NOSE (/100)
Sujet N°1	24	87	70
Sujet N°2	27	90	80
Sujet N°3	15	38	55

Tableau 4 : Scores des sujets SNPC-F aux auto-questionnaires

4.3.2. Volume implanté

Pour les trois sujets nous avons pu calculer le volume total implanté virtuellement. Après importation dans StarCCM+ et réalisation du maillage volumique, le volume de la reconstruction 3D était obtenu en faisant la somme de tous les éléments du maillage.

Le volume de chaque reconstruction après chirurgie virtuelle était obtenu de la même façon. Puis le volume implanté était calculé en faisant le calcul suivant : Volume initial – Volume après chirurgie virtuelle.

Les résultats sont reportés dans le tableau ci-dessous (Tableau 5) :

		VOLUME TOTAL IMPLANTE (en cc)	
		Essai en petit volume	Essai en grand volume
Sujet N°1	Essai 1	3,73	5,34
	Essai 2	3,1	4,5
	Essai 3	1,1	1,5
Sujet N°2	Essai 1	3,08	5,3
	Essai 2	3,27	4,2
	Essai 3	1	1,15
Sujet N°3	Essai 1	3,91	4,75
	Essai 2	4,31	4,09
	Essai 3	2,32	2,89

Tableau 5 : Volume implanté virtuellement selon les essais

4.3.3. Distribution de l'écoulement et débit

Chez les trois sujets, dès l'essai en petit volume, l'étude des streamlines a montré la disparition des vortex observés dans les couloirs inférieurs dans les essais 1 et 2 (correspondant respectivement à un implant positionné dans la cloison intersinusonasale et dans le septum nasal). En revanche, pour l'essai 3 (qui correspondrait à une injection de matériel de comblement à la partie antérieure du septum) on notait une amélioration partielle chez deux patients mais une aggravation chez un patient de ces vortex.

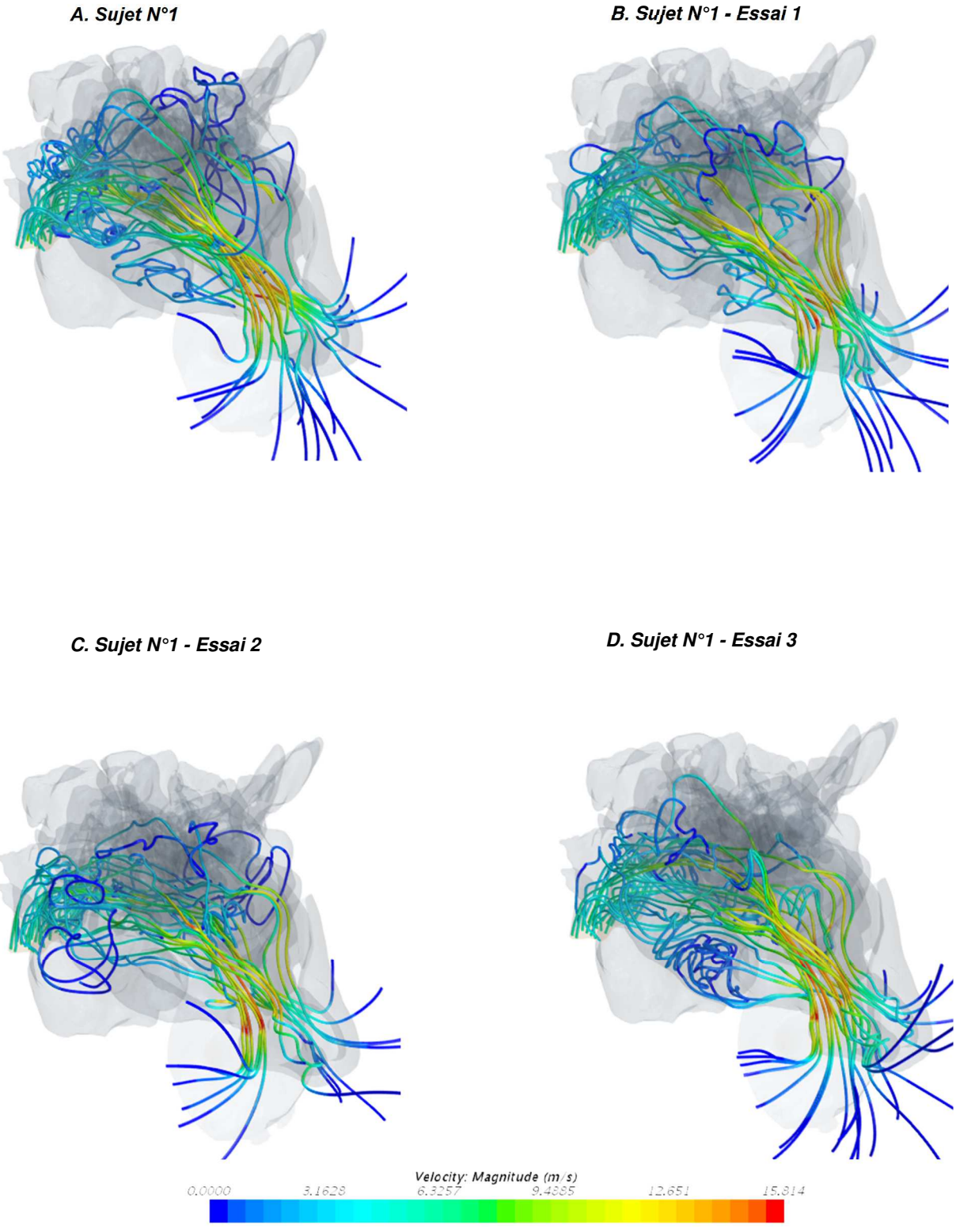
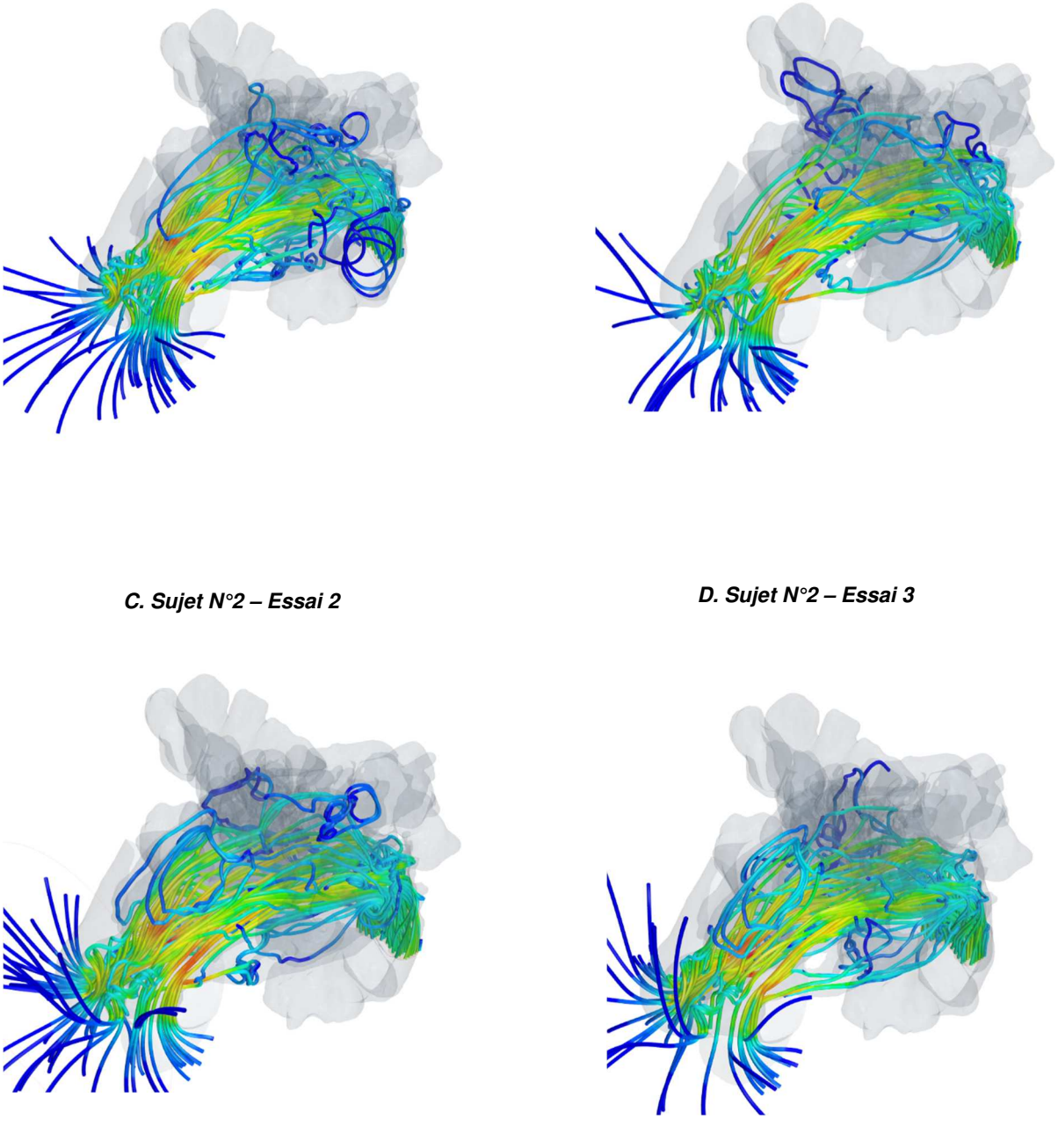


Figure 35 : Streamlines du sujet N°1 avant et après chirurgie virtuelle (essai petit volume)

Disparition des vortex du couloir inférieur dans les essais 1 et 2
Aggravation dans l'essai 3

A. Sujet N°2

B. Sujet N°2– Essai 1



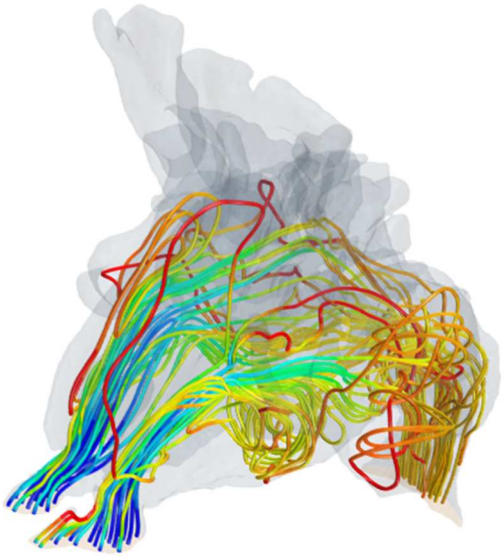
C. Sujet N°2 – Essai 2

D. Sujet N°2 – Essai 3

Figure 36 : Streamlines du sujet N°2 avant et après chirurgie virtuelle (essai petit volume)

Disparition des vortex du couloir inférieur dans les essais 1 et 2
Régression partielle dans l'essai 3

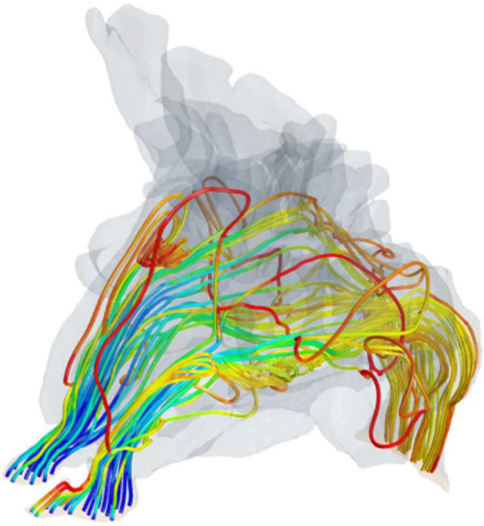
A. Sujet N°3



B. Sujet N°3 – Essai 1

C. Sujet N°3 – Essai 2

D. Sujet N°3 – Essai 3



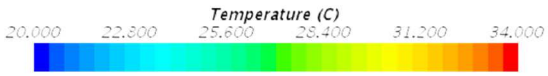


Figure 37 : Streamlines du sujet N°3 avant et après chirurgie virtuelle (essai petit volume)

Disparition des vortex du couloir inférieur dans les essais 1 et 2
Régression partielle dans l'essai 3

L'étude de la répartition des débits entre les couloirs inférieur, moyen et supérieur montre chez le sujet N°1 une diminution du débit traversant le couloir inférieur au détriment des couloirs moyen et supérieur. Un effet identique semble être visible sur le sujet N°2, en revanche chez le sujet N°3 la modification de la répartition du débit est très faible. L'effet était modéré avec l'essai en petit volume, et plus important avec l'essai en grand volume.

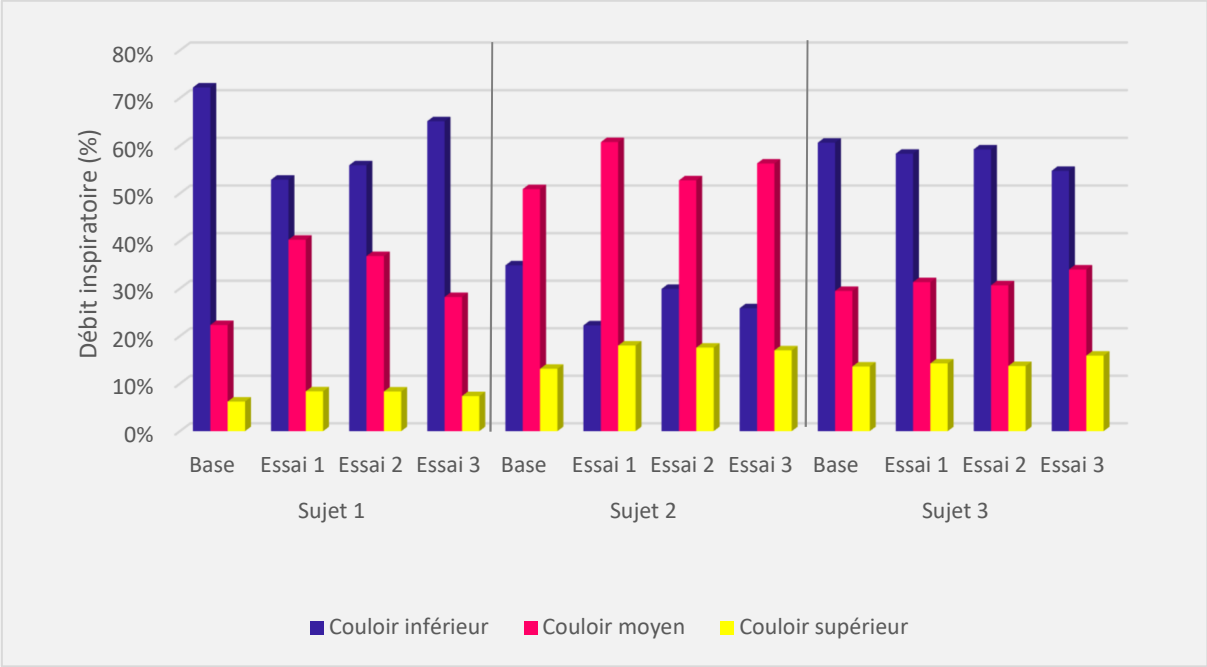


Figure 38 : Répartition de l'écoulement inspiratoire pré et post-chirurgie virtuelle (essai grand volume)
Après chirurgie virtuelle : diminution du débit dans le couloir inférieur, augmentation du débit dans les couloirs moyens et supérieurs

4.3.4. Température

Les températures moyennes ont été calculées sur les neuf cross sections de chaque sujet.

On observait visuellement des températures localement plus élevées dans les zones au contact de l'implant virtuel (Figure 39).

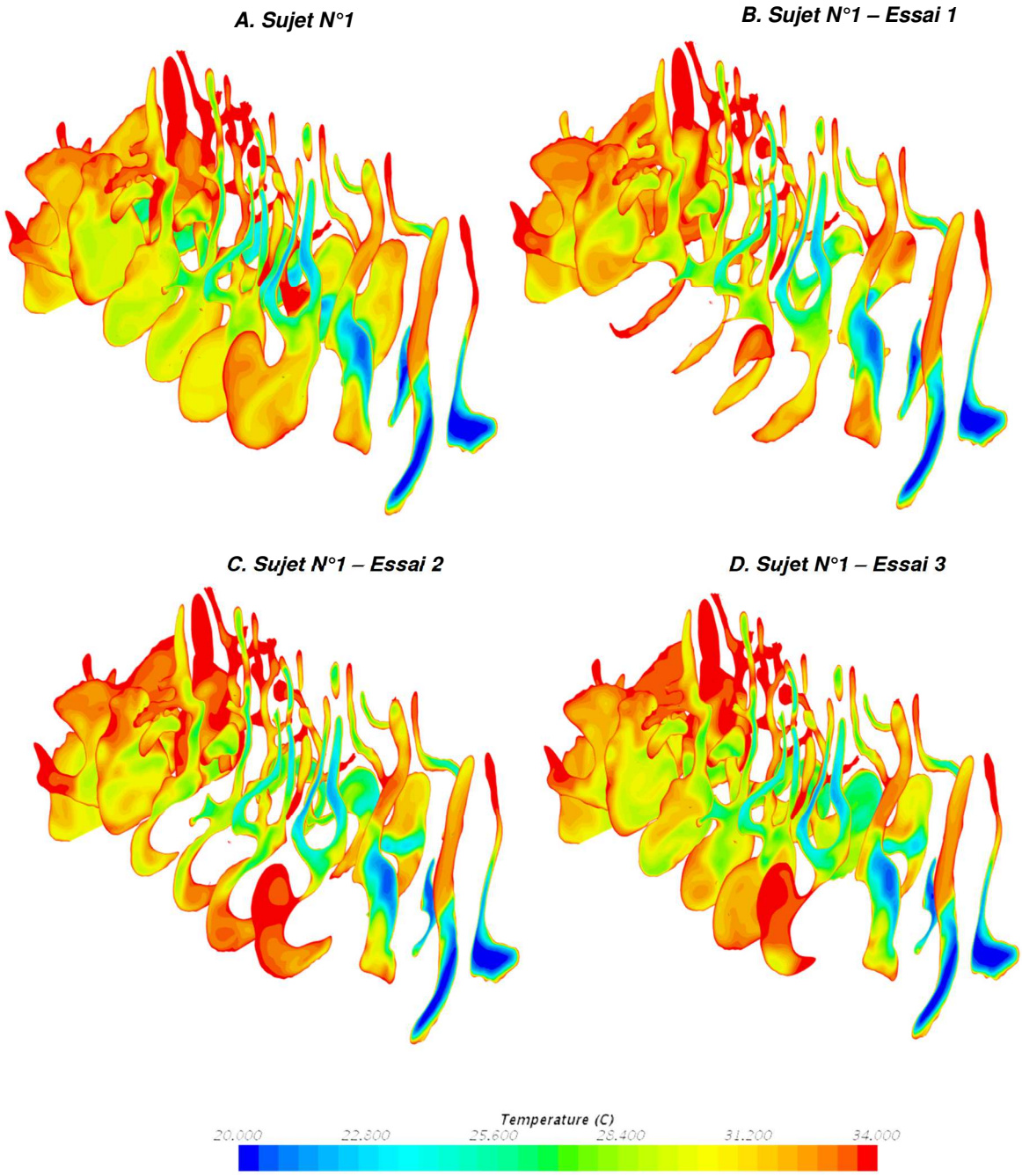


Figure 39 : Cross sections – températures chez le Sujet N°2 avant et après chirurgie virtuelle (essai grand volume)

La Figure 40 présente, pour les trois sujets SNPC-F étudiés, les variations de températures dans l'ensemble de la fosse nasale sur les cross sections N°5, 6, 7, 8 et 9 (correspondant aux cross sections où nous avions mis en évidence une différence de température statistiquement significative entre SPNC et sujets sains dans notre étude précédente). Les températures après chirurgie virtuelle étaient augmentées pour les trois sujets en proportion variable selon les sujets. Au cavum (cross section N°9), on notait également une augmentation de la température après chirurgie virtuelle, avec selon les essais entre +1 et +1.3 °C chez le sujet N°1, entre +0.8 et +1°C chez le sujet N°2, et entre +0.1 et +0.2°C chez le sujet N°3. Les effets étaient plus importants dans l'essai grand volume que petit volume.

Nous avons également calculé les températures moyennes dans les couloirs inférieurs uniquement dans les cross sections N°4, 5, 6 et 7, qui correspondent à l'aire de projection du cornet moyen (Figure 41). Les températures étaient augmentées dans les couloirs inférieurs après chirurgie virtuelle de façon plus ou moins marquée selon les sujets, avec une meilleure efficacité globale de l'essai 2 et une efficacité comparable des essais 1 et 3.

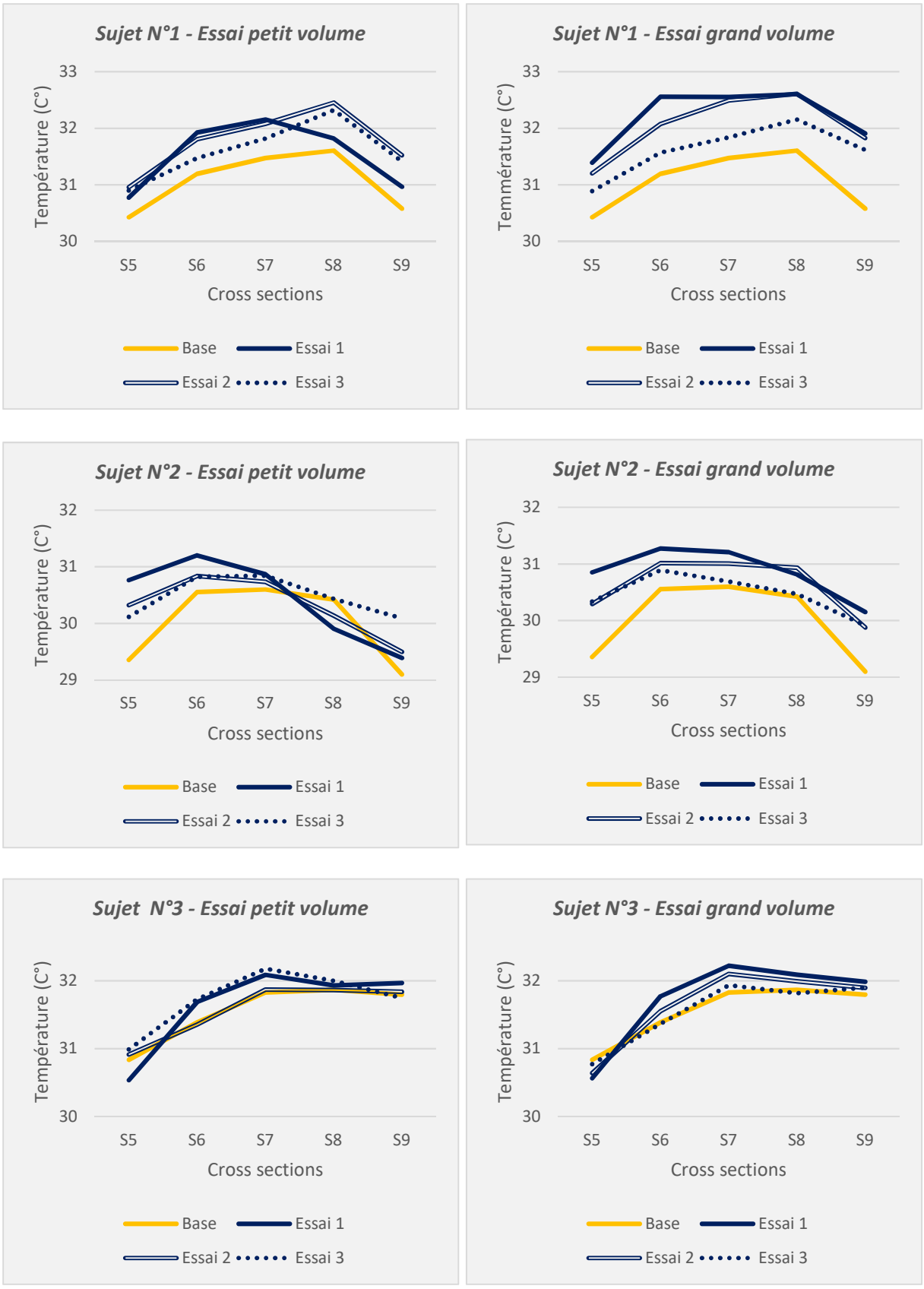


Figure 40 : Températures moyenne dans la fosse nasale pré et post-chirurgie virtuelle

Figure 41 : Températures dans le couloir inférieur pré et post-chirurgie virtuelle

4.3.5. Vitesse

Les vitesses moyennes ont été calculées sur les neuf cross sections de chaque sujet (Figure 42 et 43), sans relever de différences importantes pré et post-chirurgie virtuelle, que ce soit avec petit ou grand volume.

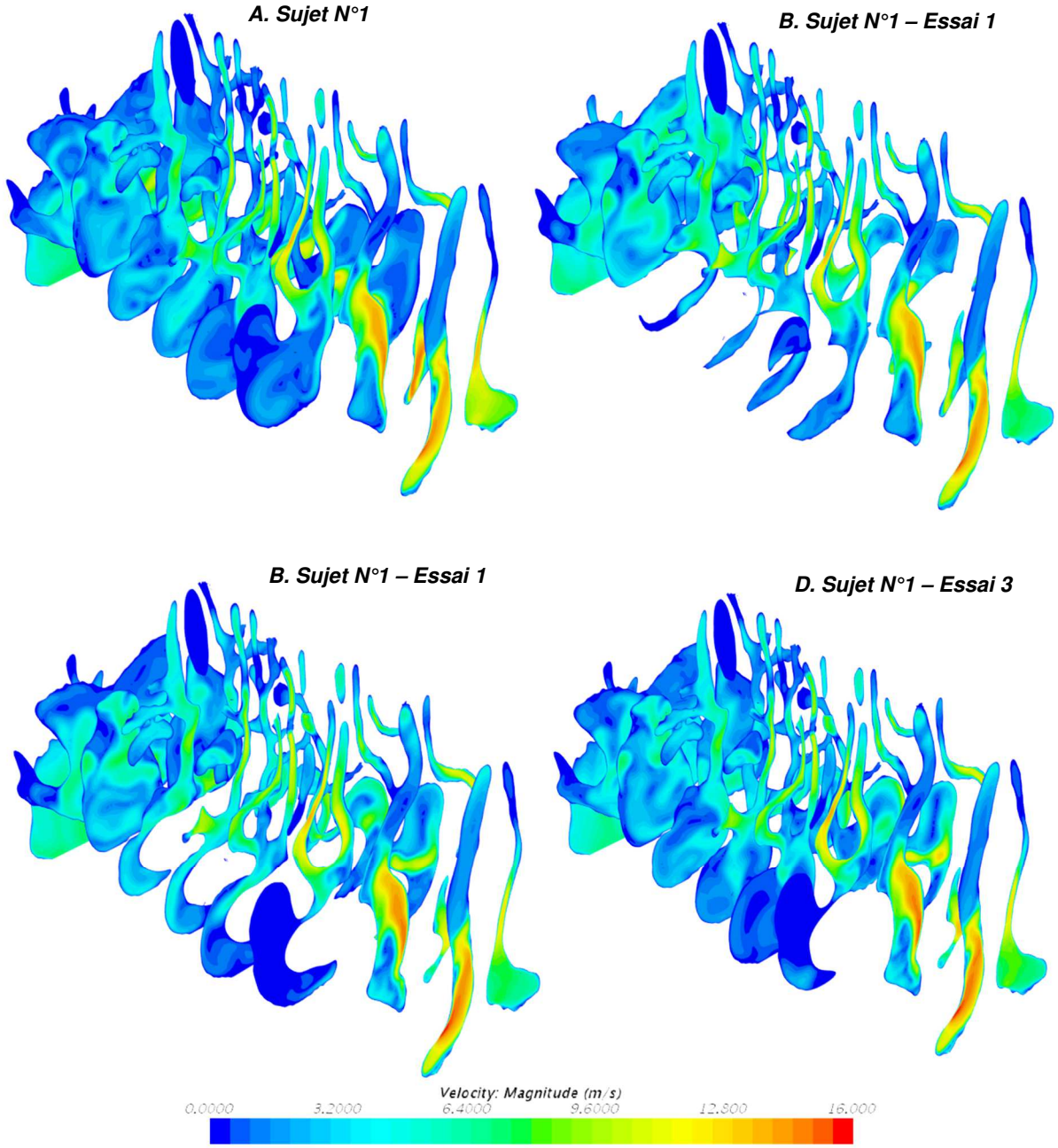
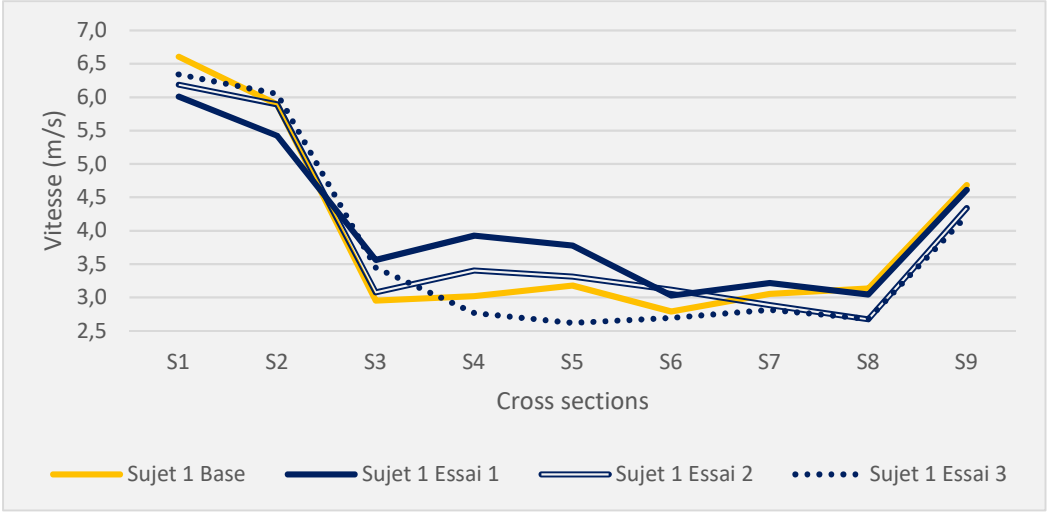
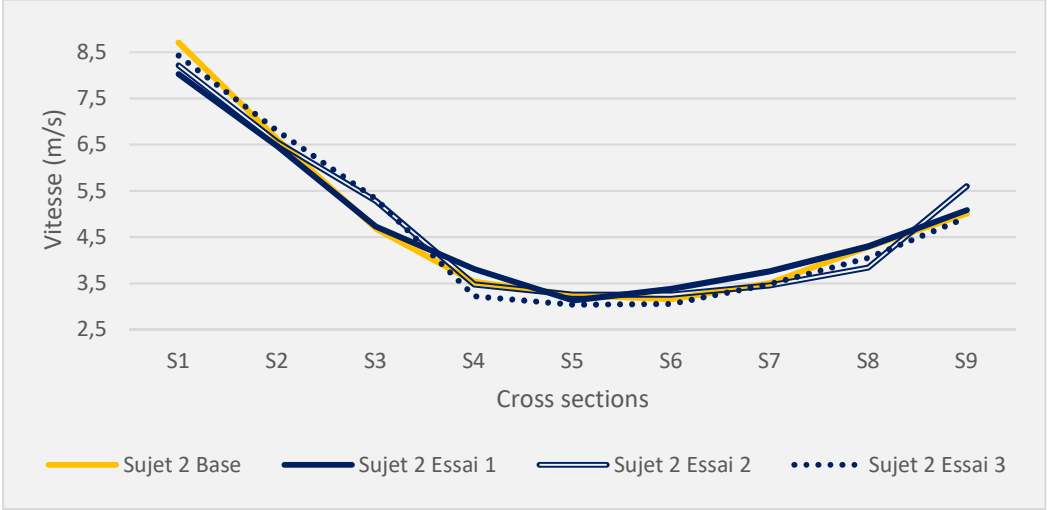


Figure 42 : Cross sections – vitesses chez le Sujet N°1 pré et post- chirurgie virtuelle (essai grand volume)

A.



B.



C.

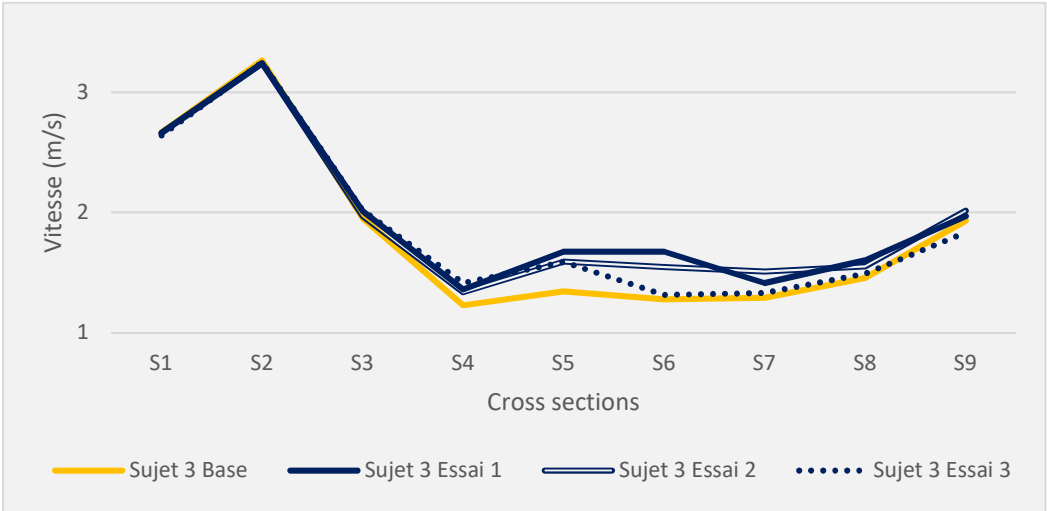


Figure 43 : Vitesses moyennes dans la fosse nasale pré et post-chirurgie virtuelle (essai grand volume)

A. Sujet N°1 ***B.*** Sujet N°2 ***C.*** Sujet N°3

Nous avons également calculé les vitesses moyennes dans les couloirs inférieurs dans les cross sections N°4, 5, 6 et 7 (Figure 44). Les résultats étaient mitigés, avec augmentation des vitesses chez les sujets N°1 et 3, et légère diminution des vitesses chez le sujet N°2.

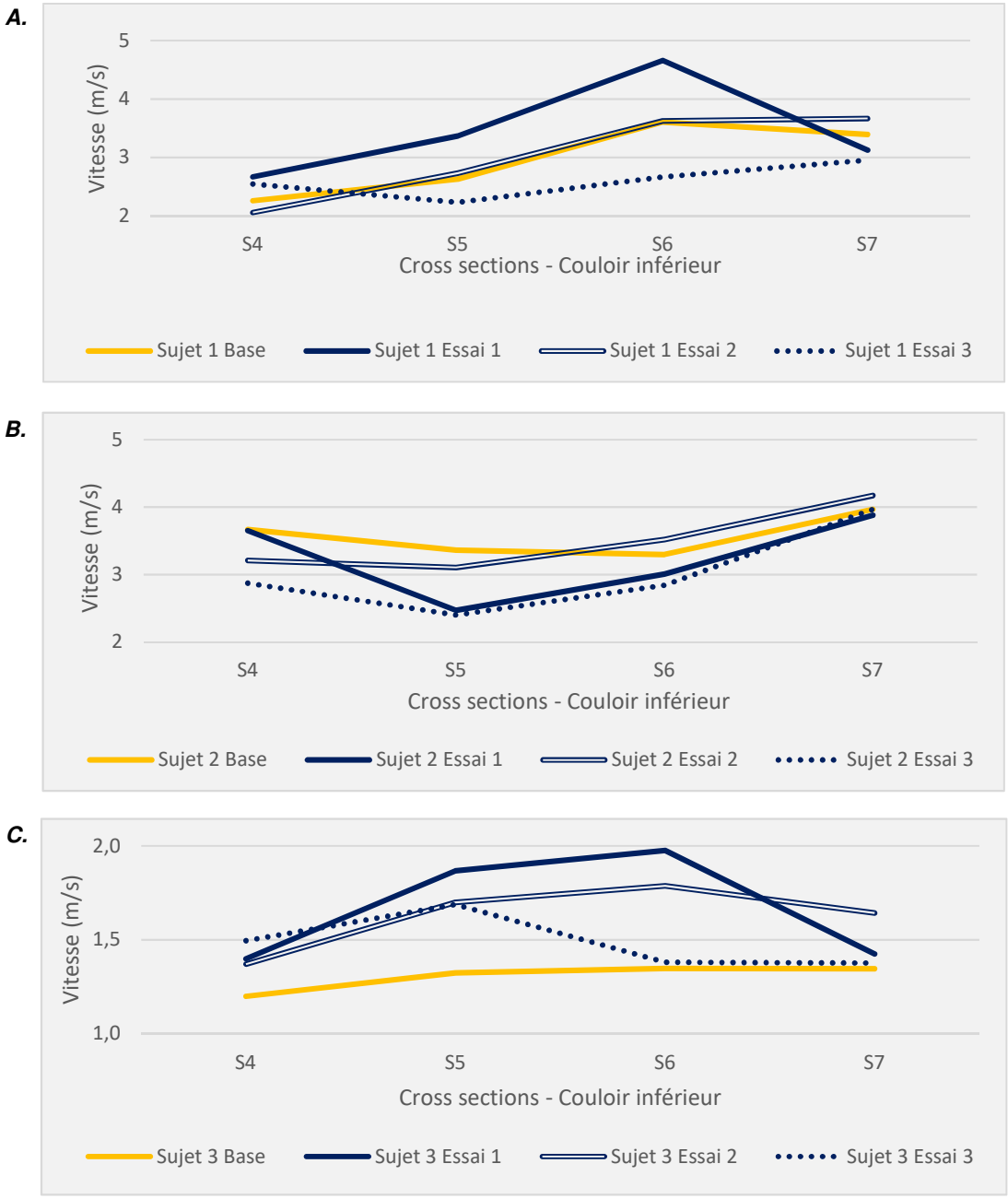


Figure 44 : Vitesses moyennes dans le couloir inférieur pré et post-chirurgie virtuelle (essai grand volume)

A. Sujet N°1 ***B.*** Sujet N°2 ***C.*** Sujet N°3

4.3.6. Pression Totale

Concernant les variations de la pression totale, les résultats sont différents entre nos trois sujets (Figure 45). Chez le sujet N°1, nous avons noté, dans les essais 1 et 2, une augmentation de la pression totale sur les cinq premières cross sections, puis une baisse sur les quatre dernières. Dans l'essai 3, nous avons noté une baisse globale de la pression totale. Chez le sujet N°2, nous avons observé une augmentation globale de la pression totale dans les trois essais. Chez le sujet N°3, la pression totale ne présentait aucune modification pré et post-chirurgie virtuelle.

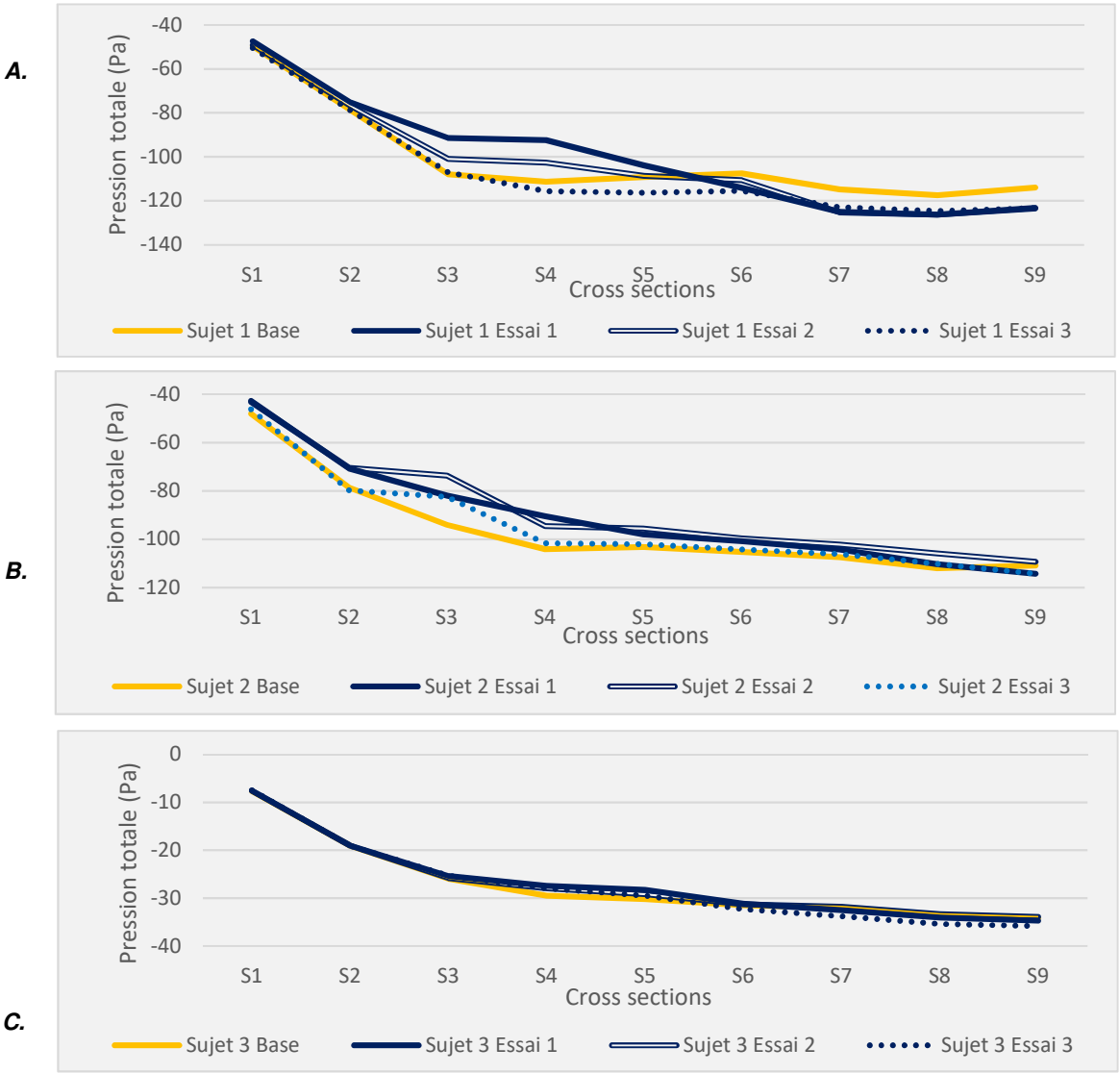


Figure 45 : Pression totale pré et post-chirurgie virtuelle (essai grand volume)
A. Sujet N°1 ***B.*** Sujet N°2 ***C.*** Sujet N°3

4.3.7. Wall Shear Stress

Après chirurgie virtuelle nous avons constaté une augmentation des valeurs de WSS dans les trois essais pour chaque sujet (Figure 46), de façon plus importante en grand volume qu'en petit volume. L'essai 1 était associé à la plus grande augmentation du Peak WSS chez les sujets N°1 et 3.

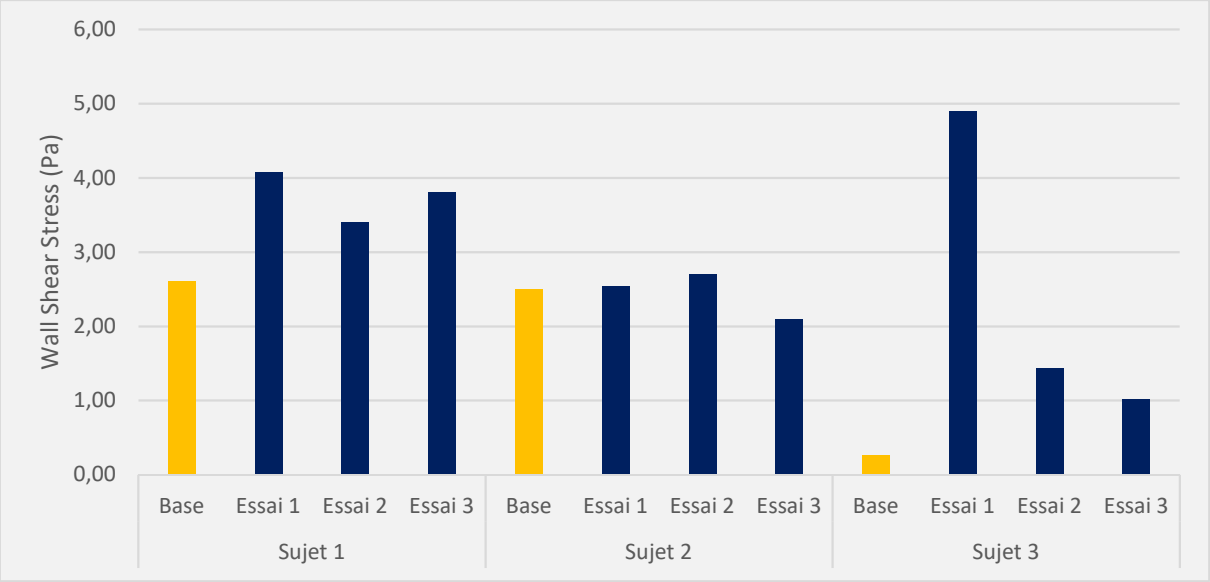


Figure 46 : Peak Wall Shear Stress (WSS) pré et post-chirurgie virtuelle (essai grand volume)

4.3.8. Résistances nasales

Les résistances nasales ont été calculées en faisant le rapport entre la différence de pression entre la narine droite et le pharynx, et le débit mesuré à l'entrée de la narine droite, selon le principe de la rhinomanométrie.

Tous les sujets présentaient des résistances nasales inférieures à 0.3 Pa/mL/s. Nous avons observé une augmentation des résistances inspiratoires après chirurgie virtuelle (Figure 47), avec des résistances restant toutefois inférieures à 0.3 Pa/mL/s.

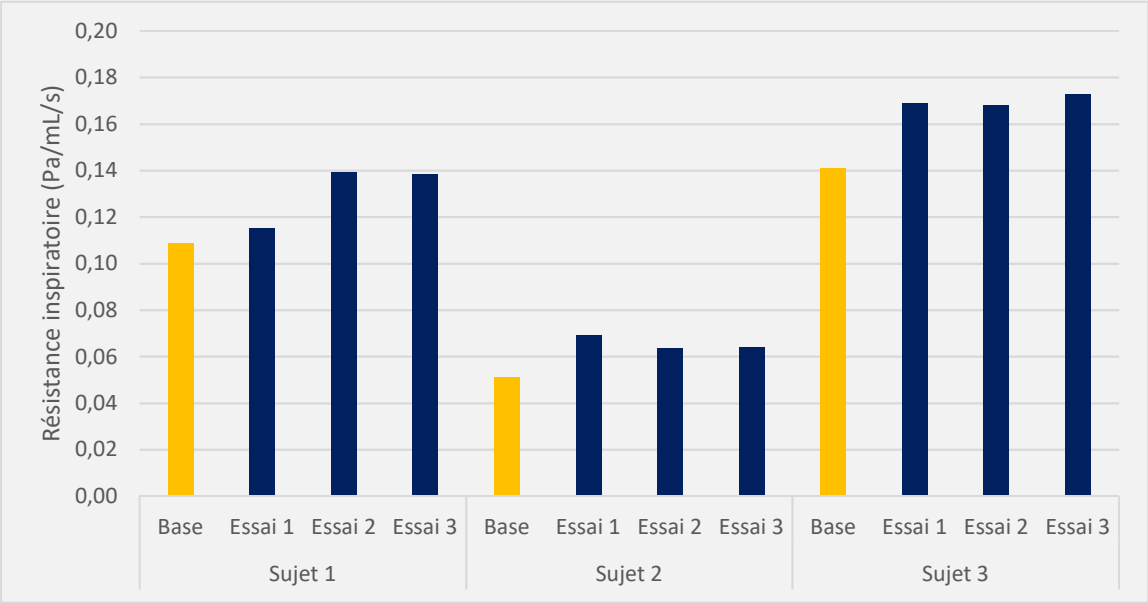


Figure 47 : Résistances inspiratoires pré et post-chirurgie virtuelle (essai grand volume)

4.4. Discussion

Dans cette première étude de CFD portant sur la réhabilitation chirurgicale du SNPC, nous avons mis en évidence des modifications dans les paramètres du conditionnement de l'air après chirurgie virtuelle.

Tout d'abord, chez nos trois sujets, un implant positionné au niveau de la cloison intersinusonasale ou au niveau du septum nasal (essais 1 et 2), entrainait une disparition des vortex qui étaient observés dans le couloir inférieur. Le résultat était plus mitigé dans une simulation d'injection de produit de comblement à la partie antérieure du septum (essai 3), où il existait une régression seulement partielle des vortex des couloirs inférieurs chez deux patients, et une aggravation de ces formations chez un patient.

Dans cette étude, la chirurgie virtuelle redistribuait l'écoulement inspiratoire pour revenir au schéma observé chez les sujets sains : diminution du débit parvenant au couloir inférieur et augmentation du débit parvenant aux couloirs moyen et supérieur.

La température était augmentée de façon globale dans la fosse nasale, et plus spécifiquement dans le couloir inférieur, pour les trois sujets dans les trois essais. L'air

parvenant au cavum était réchauffé après chirurgie virtuelle chez les trois sujets avec efficacité équivalente des trois essais. Ceci est très intéressant puisque nous avons mis en évidence une corrélation très forte chez les sujets SNPC-F entre le score NOSE et la valeur de température moyenne de l'ensemble de la fosse nasale que nous avions montré en 3.3.4. Ceci permet d'espérer une régression de la sensation d'obstruction nasale après chirurgie de réhabilitation.

Les vitesses en revanche étaient peu modifiées dans la fosse nasale dans son ensemble. Au couloir inférieur la vitesse pouvait être légèrement augmentée ou diminuée selon les sujets.

Nous avons constaté une augmentation des résistances inspiratoires et du Wall Shear Stress après chirurgie virtuelle en proportions variables selon les sujets et les types d'essais.

Concernant la Pression Totale, nous n'avons pas mis en évidence de réelle modification après chirurgie virtuelle. Ceci pourrait être lié au faible nombre de sujets étudiés, ou à une sous-correction par un implant de trop petite taille. Par ailleurs, la traduction clinique des modifications de pression totale reste inconnue.

Dans cette simulation de chirurgie virtuelle, les volumes implantés vont de 4.09 à 5.3 cm^3 au niveau de la cloison intersinusonasale ou au niveau du septum nasal, et de 1.15 à 2.89 cm^3 pour la simulation d'injection de produit de comblement à la partie antérieure du septum (volumes correspondant à une implantation bilatérale). Dans les études concernant la réhabilitation chirurgicale du SNV[30–37], les implants ont des volumes similaires aux nôtres (Tableau 6).

Il est intéressant de noter que le patient chez qui nous avons obtenu les moins bons résultats (le sujet N°3), est également le sujet ayant subi le geste le plus radical, avec une turbinectomie inférieure bilatérale radicale sans aucun reliquat turbinal, associée à une méatotomie moyenne bilatérale. Les sujets N°1 et N°2 en revanche, chez qui nos résultats sont meilleurs, avait subi un geste moins radical, en effet il persistait un reliquat turbinal postérieur bilatéral chez le sujet N°2, et unilatéral gauche chez le sujet N°1, et il n'existait pas de séquelles d'une méatotomie moyenne.

Entre les trois techniques, il ne parait pas possible sur cette première analyse de conclure à la supériorité ou à l'infériorité d'une technique par rapport à l'autre. Ceci est concordant avec la littérature, qui rapporte une amélioration globale chez les patients pour toutes les techniques[9], avec néanmoins une amélioration moins pérenne dans le temps avec l'injection d'acide hyaluronique[34].

Auteur principal (année)	Nombre de patients	Matériel implanté	Position de l'implant	Taille de l'implant	Modalités d'évaluation de l'efficacité	Suivi (mois)
Jiang (2014)	24	Medpor	Cloison inter-sinusonasale, plancher de la fosse nasale et/ou septum	3 à 13 x 20 à 28 x 3 mm (une à quatre pièces par côté)	SNOT-25	3,6,12
Lee (2017)	30	Medpor	Cloison inter-sinusonasale ou plancher de la fosse nasale	Non précisé	SNOT-22	12
Jung (2013)	31	Cartilage (costal, conchal)	Cloison inter-sinusonasale	Non précisé	SNOT-25	6
Jang (2011)	12	Cartilage (septal, conchal, costal)	Cloison inter-sinusonasale	Non précisé	Echelle Visuelle Analogique	6-27
Modrzynski (2011)	3	Acide hyaluronique	Reliquat restant de la tête de cornet inférieur	0.3 à 0.4 cc	Ressenti du patient	12
Bastier (2013)	5	B-Phosphate Tricalcique	Cloison inter-sinusonasale	Deux pièces de 15x5x2mm	NOSE, RhinolQoL	8,2-21
Houser (2007)	8	AlloDerm	Reliquat restant du cornet inférieur, cloison nasale, ou plancher de la fosse nasale.	Une à deux feuilles de 2 x 4cm, enroulée(s) sur elle(s)-même(s)	SNOT-20	6-48
Saafan (2013)	24	AlloDerm ou Silastic	Cloison inter-sinusonasale, plancher de la fosse nasale et septum	Deux pièces de 1 x5x10mm	SNOT-25	1,3,6,12,18

Tableau 6 : Résumé des études portant sur la réhabilitation chirurgicale du SNV

4.5. Conclusion

Cette première étude de CFD portant sur la réhabilitation chirurgicale du SNPC a objectivé des modifications dans le conditionnement de l'air après chirurgie virtuelle.

Malgré la petite taille de l'échantillon, les résultats obtenus montrent que la mise en place d'un implant recréant un volume dans le couloir inférieur corrige ou améliore des paramètres de CFD altérés chez le sujet SNPC-F, dans le but de se rapprocher du modèle établi sur sujet sain.

Ces résultats nous encouragent à poursuivre ces travaux sur un plus grand nombre de sujets, en nous appuyant sur de nouvelles simulations à la recherche du volume approprié et du positionnement optimal de l'implant, avec, à terme, le souhait d'une chirurgie personnalisée.

Points clés

- Le Syndrome Nasal Post-Chirurgical (SNPC), survenant dans les suites d'une chirurgie endonasale (surtout turbinectomie inférieure et/ou moyenne), associe une obstruction nasale paradoxale (sans cause évidente retrouvée à l'examen clinique et non détectée par la rhinomanométrie), et un cortège varié d'autres symptômes d'inconfort nasal.
- La simulation numérique des écoulements (CFD) est une technique récente qui a permis de faire émerger de nouvelles hypothèses concernant la physiopathologie du SNPC
- La réhabilitation chirurgicale du SNPC semble prometteuse, avec amélioration des scores subjectifs de bien-être nasal après mise en place d'un implant permettant de recréer un volume dans le couloir inférieur
- En CFD, nous avons étudié les effets d'une chirurgie virtuelle, avec matérialisation d'un volume dans le couloir inférieur : dans la cloison intersinusonasale (essai 1), dans le septum (essai 2), ou à la partie antérieure du septum tel une injection de produit de comblement de type acide hyaluronique (essai 3).
- Cette chirurgie virtuelle a permis la correction ou l'amélioration des paramètres de CFD qui étaient altérés chez le sujet avec SNPC, pour se rapprocher du modèle du sujet sain : réchauffement de l'air, disparition ou régression des vortex dans les couloirs inférieurs, augmentation du Wall Shear Stress et des résistances nasales, diminution du débit dans le couloir inférieur et augmentation dans les couloirs moyens et supérieurs. Nous n'avons pas pu mettre en évidence la supériorité d'une technique par rapport à une autre.

5. LIMITES ET PERSPECTIVES

5.1. Limites de la CFD

L'une des premières critiques fréquemment émises sur la CFD reste l'utilisation d'un modèle laminaire. Il est admis que le régime d'écoulement de l'air est transitionnel entre les régimes laminaires et turbulents. Néanmoins, il n'existe pour l'instant pas de modèle adapté de CFD qui permettrait de considérer l'écoulement comme transitionnel. Le choix d'un modèle laminaire permet une plus grande simplicité dans les calculs, le choix d'un modèle turbulent nécessiterait en effet de rajouter de nombreuses constantes sont les paramétrages seraient à définir et pour lesquels il n'existe pas de modèle ni de valeur de référence[39].

Par la suite, la compliance des parois rhino-sinusiennes (valve), y compris turbinales, n'a pas été prise en compte dans notre modèle, dans lequel les structures nasosinusiennes étaient considérées comme un mur rigide. Ceci pourrait affecter les résultats principalement en calcul instationnaire, mais probablement de manière modérée[39] car la simulation était effectuée pour un régime respiratoire calme, physiologique, n'entrainant pas de déformation des structures à l'état normal. Il n'existe pas à l'heure actuelle de modèle permettant de simuler la compliance de la valve nasale notamment car à ce jour les valeurs du module d'Young des cartilages du nez n'ont pas pu être déterminés expérimentalement. Ces modèles rigides sont communément utilisés par les auteurs[6,8,9,13], néanmoins leur prise en compte serait intéressante dans de futures études, qui nécessiteraient d'utiliser des modèles plus complexes.

Une autre limite de ce travail concerne le cycle nasal, qui n'est pas pris en compte. Le cycle nasal correspond à une alternance de volume des cornets inférieurs et moyens en fonction de leur état de turgescence. En effet, le scanner correspond à une image des fosses nasales à un instant donné. De plus un seul et même cycle respiratoire nasal a été utilisé (recueilli au laboratoire lors d'une expérience), peut-être serait-il intéressant d'utiliser un seul cycle normalisé. Toutefois chez les sujets de cette étude, il existe fréquemment une absence partielle ou totale des structures turbinales,

de fait la non-prise en compte du cycle ventilatoire n'affecterait que peu les résultats des calculs.

L'hygrométrie est également un paramètre très important dans le conditionnement de l'air inspiré. En effet Zhao et al. ont démontré que l'humidité de l'air influence de manière significative la sensation de perméabilité nasale, et non pas la température seule, par un effet de refroidissement de la muqueuse[15,28]. Le caractère sec de l'air présent dans les fosses nasales à l'inspiration, associé à la présence de vortex dans les couloirs inférieurs, pourrait par ailleurs participer au phénomène de crustation. Il pourrait également générer un inconfort pulmonaire par inhalation d'air non suffisamment humidifié. En effet des études ont montré que chez les patients chez qui le système de conditionnement nasal de l'air inspiré est court-circuité (patients requérant une ventilation mécanique par sonde de trachéotomie, patients ayant été opéré d'une laryngectomie totale), on observait à court terme la formation de sécrétions par la muqueuse de l'arbre respiratoire, et sur le long terme un dysfonctionnement ciliaire des cellules de la muqueuse de l'arbre trachéo-bronchique, une destruction des cellules des muqueuses, voire une atélectasie pulmonaire[40–42].

La température imposée aux parois a été paramétrée à 34°C, comme dans de nombreuses études réalisées en CFD sur la ventilation nasale. Cette température imposée correspond à une mesure qui a été faite expérimentalement aux conditions normales de pression et de température, Lindemann l'a en effet mesurée entre 30 et 34°C[43]. Notre condition limite pour les parois rhino-sinusiennes était un mur chauffant non glissant, la réalité physiologique s'approcherait plus selon nous d'un flux de chaleur dont les températures seraient comprises entre 34 et 37°C, qui serait au contact d'un écoulement d'air à travers une membrane poreuse permettant les échanges notamment d'hygrométrie. Ces échanges consomment ¼ à 1/3 des apports hydriques quotidiens d'un adulte sain selon des études expérimentales[44–46].

Enfin, si la CFD semble prometteuse dans l'approche de la pathologie rhino-sinusienne, elle demeure néanmoins très coûteuse en temps ainsi qu'en logistique. Cette technique requiert la présence d'un ingénieur pour la mise en place et le suivi de tout le procédé. Elle nécessite un matériel informatique de grande qualité permettant d'avoir une puissance suffisante pour permettre de réaliser les calculs qui sont très lourds. Même comme cela, un calcul en régime instationnaire sur une période

de respiration de 18 secondes nécessite un temps de calcul de 48 à 72h en continu sur 8 cœurs en parallèle.

5.2. Perspectives

L'apport de la CFD dans l'étude de la pathologie rhino-sinusienne a été majeur ces vingt dernières années. Cette technique a permis d'acquérir de nouvelles connaissances sur les modalités de conditionnement de l'air, et a également permis de mieux comprendre la physiopathologie de certains troubles nasosinusiens.

Le Syndrome du Nez Vide (SNV) par exemple, terme auquel nous préférons celui de Syndrome Nasal Post-Chirurgical (SNPC), était encore inconnu il y a trente ans. Devant l'obstruction nasale, paradoxale puisque non objectivée à l'examen clinique, la réponse donnée alors aux patients était la probable cause psychologique. Depuis, la CFD a objectivé de réelles modifications en termes de conditionnement de l'air dans le SNPC. L'air est plus froid (ce qui pourrait engendrer la sensation paradoxale d'obstruction nasale), mal humidifié (entrainant probablement cette absence de sensation de passage d'air), il existe des vortex dans les couloirs inférieurs (qui pourraient expliquer le phénomène de crustation), les résistances nasales sont effondrées (pouvant être à l'origine de la dyspnée et de la sensation de suffocation).

La perspective à l'heure actuelle est d'utiliser la CFD dans des techniques de chirurgie virtuelle pour permettre une chirurgie « sur mesure » : Quelle taille d'implant ? Quel emplacement ? A terme, nous espérons une prise en charge personnalisée de cette pathologie, qui reste encore méconnue du plus grand nombre, mais extrêmement invalidante pour les patients.

6. CONCLUSION

Par ce travail, nous avons cherché à appliquer un protocole de simulation numérique des écoulements (Computational Fluid Dynamics ou CFD), à des sujets atteints de Syndrome Nasal Post-Chirurgical (SNPC). Ce dernier se définit comme un ensemble de symptômes d'inconfort nasal pouvant faire suite à une chirurgie endonasale, qu'elle soit fonctionnelle (SNPC-F) ou carcinologique (SNPC-C).

Nous avons montré que le protocole de CFD défini dans notre laboratoire de mécanique des fluides permettait l'analyse des paramètres d'écoulement aérien chez des patients atteints de SNPC.

Nous avons mis en évidence l'existence de corrélations entre les variables mesurées en CFD et les symptômes exprimés par les patients via trois auto-questionnaires antérieurement validés pour le nez vide et l'obstruction nasale : ENS-6Q, NOSE, et SNOT-25. Cette connexité s'est avérée particulièrement démonstrative entre le score ENS-6Q et les résistances nasales à l'inspiration, ainsi qu'entre le score NOSE et la température moyenne de la fosse nasale chez les sujets SNPC-F. En revanche, les questionnaires n'étaient pas corrélés entre eux, suggérant une bonne complémentarité mais laissant augurer de leur caractère non exhaustif et non substituable. Il a été possible d'établir un lien entre l'augmentation des vitesses d'écoulement et une baisse des températures dans les zones de vacuité secondaires aux exérèses chirurgicales : couloirs inférieurs ou moyens pour les sujets SNPC-F, vaste cavité nasale pour les sujets SNPC-C. Le débit d'air dans le couloir inférieur était majoré (au détriment des couloirs moyens et supérieurs), avec, pour corollaire, une accélération de l'écoulement, la formation de vortex dans le couloir inférieur, et une diminution des résistances nasales portant également sur le Wall Shear Stress et la pression totale.

Enfin, preuve a été faite que la chirurgie virtuelle permettait la correction ou l'amélioration des paramètres de CFD altérés chez le sujet SNPC-F, dans le but de se rapprocher du modèle établi sur sujet sain.

Ces résultats nous encouragent à poursuivre ces travaux sur un plus grand nombre de sujets, en nous appuyant sur de nouvelles simulations à la recherche du volume approprié et du positionnement optimal de l'implant, avec, à terme, le souhait d'une chirurgie personnalisée.

BIBLIOGRAPHIE

1. Moore EJ, Kern EB. Atrophic rhinitis: a review of 242 cases. Am J Rhinol. 2001;15(6):355‑361.

2. Coste A, Dessi P, Serrano E. Empty nose syndrome. Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis. 2012;129(2):93‑97.

3. Scheithauer MO. Surgery of the turbinates and “empty nose” syndrome. GMS Curr Top Otorhinolaryngol Head Neck Surg [Internet]. 2011;9.

4. Payne SC. Empty nose syndrome: what are we really talking about? Otolaryngol Clin North Am. 2009;42(2):331‑337, ix‑x.

5. Zhao K, Jiang J. What is normal nasal airflow? A computational study of 22 healthy adults. Int Forum Allergy Rhinol. 2014;4(6):435‑446.

6. Di M-Y, Jiang Z, Gao Z-Q, Li Z, An Y-R, Lv W. Numerical simulation of airflow fields in two typical nasal structures of empty nose syndrome: a computational fluid dynamics study. PLoS ONE. 2013;8(12):e84243.

7. Keyhani K, Scherer PW, Mozell MM. Numerical simulation of airflow in the human nasal cavity. J Biomech Eng. 1995;117(4):429‑441.

8. Na Y, Chung KS, Chung S-K, Kim SK. Effects of single-sided inferior turbinectomy on nasal function and airflow characteristics. Respir Physiol Neurobiol. 2012;180(2‑3):289‑297.

9. Chen XB, Leong SC, Lee HP, Chong VFH, Wang DY. Aerodynamic effects of inferior turbinate surgery on nasal airflow--a computational fluid dynamics model. Rhinology. 2010;48(4):394‑400.

10. Sozansky J, Houser SM. Pathophysiology of empty nose syndrome. Laryngoscope. 2015;125(1):70‑74.

11. Clarke RW, Jones AS, Charters P, Sherman I. The role of mucosal receptors in the nasal sensation of airflow. Clin Otolaryngol Allied Sci. 1992;17(5):383‑387.

12. Wrobel BB, Leopold DA. Olfactory and sensory attributes of the nose. Otolaryngol Clin North Am. 2005;38(6):1163‑1170.

13. Wexler D, Segal R, Kimbell J. Aerodynamic effects of inferior turbinate reduction: computational fluid dynamics simulation. Arch Otolaryngol Head Neck Surg. 2005;131(12):1102‑1107.

14. Yogeetha R, Raman R, Quek KF. Effects of temperature changes on nasal patency. Singapore Med J. 2007;48(4):304‑306.

15. Zhao K, Blacker K, Luo Y, Bryant B, Jiang J. Perceiving Nasal Patency through Mucosal Cooling Rather than Air Temperature or Nasal Resistance. PLoS One [Internet]. 2011;6(10).

16. Dayal A, Rhee JS, Garcia GJM. Impact of Middle versus Inferior Total Turbinectomy on Nasal Aerodynamics. Otolaryngol Head Neck Surg. 2016;155(3):518‐525.

17. Li C, Farag AA, Maza G, McGhee S, Ciccone MA, Deshpande B, et al. Investigation of the abnormal nasal aerodynamics and trigeminal functions among empty nose syndrome patients. Int Forum Allergy Rhinol. 2018;8(3):444‐452.

18. Mangin D, Bequignon E, Zerah-Lancner F, Isabey D, Louis B, Adnot S, et al. Investigating hyperventilation syndrome in patients suffering from empty nose syndrome. Laryngoscope. 2017;127(9):1983‐1988.

19. Spoor CF, Zonneveld FW, Macho GA. Linear measurements of cortical bone and dental enamel by computed tomography: applications and problems. Am J Phys Anthropol. 1993;91(4):469‐484.

20. Michel J. Contributions à l'étude des cavités naso-sinusiennes de l'adulte par la morphométrie géométrique et la simulation numérique des écoulements. [Marseille]; 2015.

21. Gerecci D, Casanueva FJ, Mace JC, Annen A, Barrett DM, Kim MM, et al. Nasal obstruction symptom evaluation score outcomes after septorhinoplasty. Laryngoscope. 2018; 129:841-846

22. Stewart MG, Witsell DL, Smith TL, Weaver EM, Yueh B, Hannley MT. Development and validation of the Nasal Obstruction Symptom Evaluation (NOSE) scale. Otolaryngol Head Neck Surg. 2004;130(2):157‐163.

23. Lipan MJ, Most SP. Development of a severity classification system for subjective nasal obstruction. JAMA Facial Plast Surg. 2013;15(5):358‐361.

24. Chhabra N, Houser SM. The diagnosis and management of empty nose syndrome. Otolaryngol Clin North Am. 2009;42(2):311‐330, ix.

25. Jiang C, Wong F, Chen K, Shi R. Assessment of surgical results in patients with empty nose syndrome using the 25-item Sino-Nasal Outcome Test Evaluation. JAMA Otolaryngol Head Neck Surg. 2014;140(5):453‐458.

26. Velasquez N, Thamboo A, Habib A-RR, Huang Z, Nayak JV. The Empty Nose Syndrome 6-Item Questionnaire (ENS6Q): a validated 6-item questionnaire as a diagnostic aid for empty nose syndrome patients. Int Forum Allergy Rhinol. 2017;7(1):64‐71.

27. Balakin BV, Farbu E, Kosinski P. Aerodynamic evaluation of the empty nose syndrome by means of computational fluid dynamics. Comput Methods Biomech Biomed Engin. 2017;1‐8.

28. Zhao K, Jiang J, Blacker K, Lyman B, Dalton P, Cowart BJ, et al. Regional peak mucosal cooling predicts the perception of nasal patency. Laryngoscope. 2014;124(3):589‐595.

29. Leong SC. The clinical efficacy of surgical interventions for empty nose syndrome: A systematic review. Laryngoscope. 2015;125(7):1557‐1562.

30. Bastier P-L, Bennani-Baiti AA, Stoll D, de Gabory L. β-Tricalcium phosphate implant to repair empty nose syndrome: preliminary results. Otolaryngol Head Neck Surg. 2013;148(3):519‐522.

31. Jiang C, Shi R, Sun Y. Study of inferior turbinate reconstruction with Medpor for the treatment of empty nose syndrome. Laryngoscope. 2013;123(5):1106‐1111.

32. Jung JH, Baguindali MA, Park JT, Jang YJ. Costal cartilage is a superior implant material than conchal cartilage in the treatment of empty nose syndrome. Otolaryngol Head Neck Surg. 2013;149(3):500‐505.

33. Lee T-J, Fu C-H, Wu C-L, Lee Y-C, Huang C-C, Chang P-H, et al. Surgical outcome for empty nose syndrome: Impact of implantation site. Laryngoscope. 2017;128:554-559

34. Modrzyński M. Hyaluronic acid gel in the treatment of empty nose syndrome. Am J Rhinol Allergy. 2011;25(2):103‐106.

35. Houser SM. Surgical treatment for empty nose syndrome. Arch Otolaryngol Head Neck Surg. 2007;133(9):858‐863.

36. Jang YJ, Kim JH, Song HY. Empty nose syndrome: radiologic findings and treatment outcomes of endonasal microplasty using cartilage implants. Laryngoscope. 2011;121(6):1308-1312.

37. Saafan ME. Acellular dermal (alloderm) grafts versus silastic sheets implants for management of empty nose syndrome. Eur Arch Otorhinolaryngol. 2013;270(2):527‐533.

38. Frank-Ito DO, Kimbell JS, Laud P, Garcia GJM, Rhee JS. Predicting postsurgery nasal physiology with computational modeling: current challenges and limitations. Otolaryngol Head Neck Surg. 2014;151(5):751‐759.

39. Quadrio M, Pipolo C, Corti S, Lenzi R, Messina F, Pesci C, et al. Review of computational fluid dynamics in the assessment of nasal air flow and analysis of its limitations. Eur Arch Otorhinolaryngol. 2014;271(9):2349‐2354.

40. Shelly MP. The humidification and filtration functions of the airways. Respir Care Clin N Am. 2006;12(2):139‐148.

41. McRae RD, Jones AS, Young P, Hamilton J. Resistance, humidity and temperature of the tracheal airway. Clin Otolaryngol Allied Sci. 1995;20(4):355‐356.

42. Cerpa F, Cáceres D, Romero-Dapueto C, Giugliano-Jaramillo C, Pérez R, Budini H, et al. Humidification on Ventilated Patients: Heated Humidifications or Heat and Moisture Exchangers? Open Respir Med J. 2015;9:104‐111.

43. Lindemann J, Leiacker R, Rettinger G, Keck T. Nasal mucosal temperature during respiration. Clin Otolaryngol Allied Sci. 2002;27(3):135‐139.

44. Cole P. Some aspects of temperature, moisture and heat relationships in the upper respiratory tract. J Laryngol Otol. 1953;67(8):449‐456.

45. Cole P. Further observations on the conditioning of respiratory air. J Laryngol Otol. 1953;67(11):669‐681.

46. Drettner B, Falck B, Simon H. Measurements of the air conditioning capacity of the nose during normal and pathological conditions and pharmacological influence. Acta Otolaryngol. 1977;84(3‐4):266‐277.

ANNEXES

QUESTIONNAIRE ENS-6Q

NOM : Prénom :

Vous trouverez ci-dessous une liste de symptômes liés à votre pathologie nasale. Nous aimerions en apprendre davantage sur ces problèmes et apprécierions que vous répondiez aux questions suivantes au meilleur de vos capacités.

En considérant la sévérité du problème quand il survient et la fréquence avec laquelle il survient, veuillez coter chaque item ci-dessous selon votre ressenti (une seule réponse par item).

Symptômes	Score de sévérité de 0 (Pas de symptômes) à 5 (Symptômes sévères)					
	0 Pas de problème	1 Problème très léger	2 Problème léger	3 Problème modéré	4 Problème sévère	5 Problème très sévère
1. Sécheresse						
2. Sensation de diminution du flux nasal (Absence de sensation de passage d'air par le nez)						
3. Sensation d'étouffement						
4. Sensation que le nez est trop vide						
5. Croûtes nasales						
6. Brulûres nasales						

Annexe 1 : Score ENS-6Q

QUESTIONNAIRE NOSE

NOM : Prénom :

Vous trouverez ci-dessous une liste de symptômes liés à votre pathologie nasale. Nous aimerions en apprendre davantage sur ces problèmes et apprécierions que vous répondiez aux questions suivantes au meilleur de vos capacités.

En considérant la sévérité du problème quand il survient et la fréquence avec laquelle il survient, veuillez coter chaque item ci-dessous selon votre ressenti (une seule réponse par item).

Symptômes	**Score de sévérité de 0 (Pas de symptômes) à 5 (Symptômes sévères)**				
	0 Pas de problème	1 Problème léger	2 Problème modéré	3 Problème important	4 Problème sévère
1. Congestion nasale ou manque d'air					
2. Sensation d'obstruction nasale					
3. Difficulté à respirer par le nez					
4. Trouble du sommeil					
5. Impossibilité de respirer correctement par le nez pendant le sport ou à l'effort					

Annexe 2 : Score NOSE

QUESTIONNAIRE SNOT 25

NOM : Prénom :

Vous trouverez ci-dessous une liste de symptômes et de conséquences sociales et/ou émotionnelles liés à votre pathologie nasale. Nous aimerions en apprendre davantage sur ces problèmes et apprécierions que vous répondiez aux questions suivantes au meilleur de vos capacités.

En considérant la sévérité du problème quand il survient et la fréquence avec laquelle il survient, veuillez coter chaque item ci-dessous selon votre ressenti (une seule réponse par item).

Symptômes	Score de sévérité de 0 (Pas de symptômes) à 5 (Symptômes sévères)					
	0 Pas de problème	1 Problème très léger	2 Problème léger	3 Problème modéré	4 Problème sévère	5 Problème très sévère
1. Besoin de se moucher						
2. Eternuements						
3. Nez qui coule						
4. Toux						
5. Ecoulement nasal postérieur						
6. Ecoulement nasal épais						
7. Plénitude d'oreille						
8. Vertiges						
9. Douleur dans les oreilles						
10. Douleur/pesanteur faciale						
11. Difficultés d'endormissement						
12. Réveils nocturnes						
13. Sommeil non réparateur						
14. Fatigue au lever						
15. Fatigue dans la journée						
16. Baisse de productivité						
17. Difficultés de concentration						
18. Irritabilité						
19. Tristesse						
20. Embarras						
21. Sécheresse nasale						
22. Difficultés à respirer par le nez						
23. Sensation d'étouffement						
24. Sensation de nez trop vide						
25. Croûtes nasales						

Annexe 3 : Score SNOT-25

1. Etude préliminaire : Faisabilité de la CFD dans l'étude du SNPC

Résumé

Introduction

Le Syndrome Nasal Post-Chirurgical (SNPC) regroupe un cortège varié de symptômes d'inconfort nasal, et peut survenir dans les suites d'une chirurgie endonasale fonctionnelle (SNPC-F) ou carcinologique (SNPC-C), particulièrement après turbinectomie (inférieure et/ou moyenne) lorsqu'elle est radicale. La simulation numérique des écoulements (CFD) a permis de faire émerger de nouvelles hypothèses concernant sa physiopathologie. Notre objectif dans cette étude de faisabilité était de comparer les paramètres en CFD des sujets SPNC à ceux d'un sujet sain.

Matériel et méthodes

Nous avons inclus 3 sujets SNPC-F qui présentaient des séquelles de turbinectomies inférieures et/ou moyennes totales ou subtotales, et présentaient un cortège de symptômes très lourd avec un fort retentissement sur la qualité de vie, ainsi que 2 sujets SNPC-C qui avaient été pris en charge pour des tumeurs malignes rhino-sinusiennes avec sacrifice des structures anatomiques et constitution d'une vaste cavité nasale mais conservation des cornets inférieurs. Le sujet sain était le sujet consensus d'une étude de morphométrie géométrique étudiant la variabilité du complexe nasosinusien. Nous avons appliqué notre protocole de CFD avec étude stationnaire et instationnaire.

Résultats

Nous avons observé une augmentation des vitesses avec baisse des températures dans les zones de vacuité secondaires aux exérèses chirurgicales : couloirs inférieur ou moyen pour les sujets SNPC-F, vaste cavité nasale pour les sujets SNPC-C. La température était toutefois conservée sous les cornets inférieurs des deux sujets SNPC-C. Dans le cavum, l'air était plus froid chez les sujets SNPC. Des vortex étaient observés dans les couloirs inférieurs de deux sujets SNPC-F. Les résistances nasales étaient abaissées en inspiration et en expiration.

Conclusion

Dans cette étude nous avons démontré la faisabilité de la CFD dans l'étude du SNPC. Par ailleurs, nous avons mis en évidence une altération des paramètres de CFD chez les sujets SNPC, avec un rôle vraisemblablement important du cornet inférieur dans le conditionnement de l'air inspiré.

2. SNPC et CFD : Etude des corrélations cliniques

Résumé

Introduction

Le Syndrome Nasal Post-Chirurgical (SNPC) regroupe un cortège varié de symptômes d'inconfort nasal, et peut survenir dans les suites d'une chirurgie endonasale fonctionnelle (SNPC-F) ou carcinologique (SNPC-C), particulièrement après turbinectomie (inférieure et/ou moyenne) lorsqu'elle est radicale. Notre étude de faisabilité a mis en évidence une altération des paramètres de CFD dans le SNPC. L'objectif de ce travail était double : rechercher une corrélation entre les variables de CFD et les symptômes exprimés par les patients, et appliquer notre protocole de CFD à une plus grande population de SNPC-F avec comparaison à des sujets sains.

Matériel et méthodes

Nous avons inclus 5 sujets SNPC-F qui présentaient des séquelles de turbinectomies inférieures totales ou subtotales, et présentaient un important cortège de symptômes, évalué via 3 auto-questionnaires : NOSE, ENS-6Q et SNOT-25. Les sujet sains étaient sélectionnés au hasard, asymptomatiques, et présentaient un scanner des sinus sans anomalies. Nous avons appliqué notre protocole de CFD avec recherche d'une corrélation entre CFD et auto-questionnaires par test de corrélation de Spearman, puis comparaison des paramètres de CFD entre SNPC et sujets sains par réalisation d'un t test.

Résultats

Les cinq patients SNPC présentaient des scores élevés aux auto-questionnaires. Les questionnaires n'étaient pas corrélés entre eux, suggérant leur bonne complémentarité. Nous avons retrouvé une corrélation entre l'ENS-6Q et les résistances nasales, ainsi qu'entre le NOSE et la température moyenne dans la fosse nasale. Chez les sujets SNPC-F nous avons observé une majoration du débit d'air dans le couloir inférieur au détriment des couloirs moyen et supérieur, avec accélération de l'écoulement, formation de vortex dans le couloir inférieur, diminution des températures, des résistances, du Wall Shear Stress et de la pression totale.

Conclusion

Dans cette étude nous avons mis en évidence une bonne corrélation entre certains paramètres de CFD et la symptomatologie des patients SNPC-F, ainsi qu'une altération des paramètres de CFD chez les sujets SNPC par rapport aux sujets sains.

3. Chirurgie virtuelle : Apport de la CFD dans le traitement du SNPC

Résumé

Introduction

Le Syndrome Nasal Post-Chirurgical (SNPC) regroupe un cortège varié de symptômes d'inconfort nasal, et peut survenir dans les suites d'une chirurgie endonasale fonctionnelle (SNPC-F) ou carcinologique (SNPC-C), particulièrement après turbinectomie (inférieure et/ou moyenne) lorsqu'elle est radicale. Il existe une altération des paramètres de simulation numérique des écoulements (CFD) dans le SNPC par rapport aux sujets sains. L'objectif de ce travail était d'étudier les effets d'une chirurgie virtuelle de réhabilitation du SNPC.

Matériel et méthodes

Nous avons inclus 3 sujets SNPC-F qui présentaient des séquelles de turbinectomies inférieures totales ou subtotales. Par une technique de chirurgie virtuelle nous avons recréé un volume dans le couloir inférieur en matérialisant un implant dans la cloison intersinusonasale (essai 1), dans le septum (essai 2), ou à la partie antérieure du septum tel une injection de produit de comblement type acide hyaluronique (essai 3), puis nous avons appliqué de notre protocole de CFD.

Résultats

Après chirurgie virtuelle, nous avons observé la correction ou l'amélioration des paramètres de CFD qui étaient altérés chez le sujet SNPC-F, pour se rapprocher du modèle du sujet sain : réchauffement de l'air, disparition ou régression des vortex dans les couloirs inférieurs, augmentation du Wall Shear Stress et des résistances nasales, diminution du débit dans le couloir inférieur et augmentation dans les couloirs moyens et supérieurs. Nous n'avons pas pu mettre en évidence la supériorité d'une technique par rapport à une autre.

Conclusion

Dans cette étude nous avons mis en évidence une correction ou une amélioration des paramètres de CFD chez les sujets SNPC-F après chirurgie virtuelle.

SERMENT D'HIPPOCRATE

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 moeurs.

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.

ORDRE NATIONAL DES MÉDECINS
Conseil National de l'Ordre

Résumé

Introduction

Le Syndrome Nasal Post-Chirurgical (SNPC) regroupe un cortège varié de symptômes d'inconfort nasal, et peut survenir dans les suites d'une chirurgie endonasale fonctionnelle (SNPC-F) ou carcinologique (SNPC-C), particulièrement après turbinectomie (inférieure et/ou moyenne) lorsqu'elle est radicale. La simulation numérique des écoulements (CFD) a permis de faire émerger de nouvelles hypothèses concernant sa physiopathologie. Nos objectifs étaient multiples. D'une part, de rechercher l'existence d'une corrélation entre les variables mesurées en CFD et les symptômes exprimés par les patients. D'autre part, de comparer les paramètres en CFD des sujets SPNC par rapport aux sujets sains. Enfin, d'étudier les effets d'une chirurgie virtuelle de réhabilitation du SNPC.

Matériel et méthodes

Après une étude de faisabilité portant sur trois sujets SNPC-F et deux sujets SNPC-C, nous avons recherché une corrélation entre CFD et ressenti des patients évalué par auto-questionnaires en utilisant un test de Spearman, puis nous avons comparé les paramètres de CFD de cinq sujets SNPC-F à ceux de cinq sujets sains par réalisation d'un t test. Enfin, nous avons étudié les effets en CFD d'une chirurgie virtuelle sur trois sujets SNPC-F. avec matérialisation d'un implant dans la cloison intersinusonasale (essai 1), dans le septum (essai 2), ou à la partie antérieure du septum tel une injection de produit de comblement type acide hyaluronique (essai 3).

Résultats

Nous avons retrouvé une très bonne corrélation entre l'ENS-6Q et les résistances nasales à l'inspiration ainsi qu'entre le NOSE et la température moyenne de la fosse nasale chez les sujets SNPC-F. Nous avons observé une augmentation des vitesses avec baisse des températures dans les zones de vacuité secondaires aux exérèses chirurgicales : couloirs inférieur ou moyen pour les sujets SNPC-F, vaste cavité nasale pour les sujets SNPC-C. Le débit d'air dans le couloir inférieur était majoré (au détriment des couloirs moyen et supérieur), avec accélération de l'écoulement, formation de vortex dans le couloir inférieur, diminution des résistances nasales, du Wall Shear Stress et de la pression totale. Ces paramètres semblaient être corrigés ou améliorés après chirurgie virtuelle.

Conclusion

Dans cette étude nous avons mis en évidence une altération des paramètres de CFD chez les sujets SNPC, dont certains sont corrélés aux symptômes des patients, avec amélioration après chirurgie virtuelle.

Mots clés

Computational Fluid Dynamics (CFD), Syndrome du Nez Vide, Complications de la chirurgie endonasale, Turbinectomie, Obstruction nasale.