

UNIVERSITE DE LIMOGES

FACULTE DE MEDECINE

ANNEE 2011

THESE N°

**ETUDE COMPARATIVE
ENTRE TROIS EXOPHTALMOMETRES
ET BIOMETRIES TOMODENSITOMETRIQUES**

**THESE
POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN MEDECINE**

Présentée et soutenue publiquement le 18 Mars 2011

Par

Juliette DELMAS

Née le 5 Janvier 1982 à Tulle

EXAMINATEURS DE LA THESE

M. le Professeur ADENIS.....Président
M. le Professeur ROBERT.....Directeur de thèse
M. le Professeur VALLEIXJuge
M. le Professeur MAUBON.....Juge
M. le Docteur BARTHELEMY.....Membre invité
M. le Docteur LOUSTAU.....Membre invité

UNIVERSITE DE LIMOGES

FACULTE DE MEDECINE

ANNEE 2011

THESE N°

**ETUDE COMPARATIVE
ENTRE TROIS EXOPHTALMOMETRES
ET BIOMETRIES TOMODENSITOMETRIQUES**

**THESE
POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN MEDECINE**

Présentée et soutenue publiquement le 18 Mars 2011

Par

Juliette DELMAS

Née le 5 Janvier 1982 à Tulle

EXAMINATEURS DE LA THESE

M. le Professeur ADENIS.....Président
M. le Professeur ROBERT.....Directeur de thèse
M. le Professeur VALLEIX.....Juge
M. le Professeur MAUBON.....Juge
M. le Docteur BARTHELEMY.....Membre invité
M. le Docteur LOUSTAU.....Membre invité

DOYEN DE LA FACULTE:

Monsieur le Professeur VALLEIX Denis

ASSESEURS:

Monsieur le Professeur LASKAR Marc
Monsieur le Professeur MOREAU Jean-Jacques
Monsieur le Professeur PREUX Pierre-Marie

PROFESSEURS DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS:

* C.S = Chef de Service

ACHARD Jean-Michel	PHYSIOLOGIE
ADENIS Jean-Paul (C.S)	OPHTALMOLOGIE
ALAIN Sophie	BACTERIOLOGIE, VIROLOGIE
ALDIGIER Jean-Claude (C.S)	NEPHROLOGIE
ARCHAMBEAUD-MOUVEROUX Françoise (C.S)	MEDECINE INTERNE
ARNAUD Jean-Paul (C.S)	CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE
AUBARD Yves (C.S)	GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE
BEAULIEU Pierre	ANESTHESIOLOGIE et REANIMATION CHIRURGICALE
BEDANE Christophe	DERMATOLOGIE-VENEREOLOGIE
BERTIN Philippe (C.S)	THERAPEUTIQUE
BESSEDE Jean-Pierre (C.S)	OTO-RHINO-LARYNGOLOGIE
BONNAUD François	PNEUMOLOGIE
BONNETBLANC Jean-Marie (C.S.)	DERMATOLOGIE-VENEREOLOGIE
BORDESSOULE Dominique (C.S)	HEMATOLOGIE
CHARISSOUX Jean-Louis	CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE
CLAVERE Pierre (C.S)	RADIOTHERAPIE
CLEMENT Jean-Pierre (C.S)	PSYCHIATRIE ADULTES
COGNE Michel (C.S)	IMMUNOLOGIE
COLOMBEAU Pierre	UROLOGIE
CORNU Elisabeth	CHIRURGIE THORACIQUE ET CARDIO-VASCULAIRE
COURATIER Philippe	NEUROLOGIE
DANTOINE Thierry (C.S)	GERIATRIE ET BIOLOGIE DU VIEILLISSEMENT
DARDE Marie-Laure (C.S)	PARASITOLOGIE ET MYCOLOGIE
DAVIET Jean-Christophe	MEDECINE PHYSIQUE ET DE READAPTATION
DE LUMLEY WOODYEAR Lionel (Sur 31/08/2011)	PEDIATRIE
DENIS François (Sur 31/08/2011)	BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE
DESSPORT Jean-Claude	NUTRITION
DRUET-CABANAC Michel (C.S)	MEDECINE ET SANTE DU TRAVAIL
DUMAS Jean-Philippe (C.S)	UROLOGIE
DUMONT Daniel (Sur 31/08/2012)	MEDECINE ET SANTE AU TRAVAIL
ESSIG Marie	NEPHROLOGIE
FEISS Pierre (Sur 31.08.2013)	ANESTHESIOLOGIE ET REANIMATION CHIRURGICALE
FEUILLARD Jean (C.S)	HEMATOLOGIE
FOURCADE Laurent	CHIRURGIE INFANTILE
GAINANT Alain (C.S)	CHIRURGIE DIGESTIVE
GAROUX Roger (C.S)	PEDOPSYCHIATRIE
GASTINNE Hervé (C.S) (Retraite au 04.10.10)	REANIMATION MEDICALE
GUIGONIS Vincent	PÉDIATRIE
JACCARD Arnaud	HEMATOLOGIE
JAUBERTEAU-MARCHAN Marie-Odile	IMMUNOLOGIE
LABROUSSE François (C.S)	ANATOMIE ET CYTOLOGIE PATHOLOGIQUE
LACROIX Philippe	MEDECINE VASCULAIRE
LASKAR Marc (C.S)	CHIRURGIE THORACIQUE ET CARDIO-VASCULAIRE
LIENHARDT-ROUSSIE Anne (CS)	PEDIATRIE
MABIT Christian	ANATOMIE
MAGY Laurent	NEUROLOGIE
MARQUET Pierre	PHARMACOLOGIE FONDAMENTALE
MATHONNET Muriel	CHIRURGIE DIGESTIVE
MAUBON Antoine	RADIOLOGIE ET IMAGERIE MEDICALE
MELLONI Boris (C.S)	PNEUMOLOGIE
MERLE Louis	PHARMACOLOGIE CLINIQUE
MONTEIL Jacques (C.S)	BIOPHYSIQUE ET MEDECINE NUCLEAIRE
MOREAU Jean-Jacques (C.S)	NEUROCHIRURGIE

MOULIES Dominique (C.S) (Sur. 31.08.2013)
MOUNAYER Charbel
NATHAN-DENIZOT Nathalie (C.S)
PARAF François
PLOY Marie-Cécile (C.S)
PREUX Pierre-Marie
ROBERT Pierre-Yves
SALLE Jean-Yves (C.S)
SAUTEREAU Denis (C.S)
SAUVAGE Jean-Pierre (Sur 31/08/2011)
STURTZ Franck (C.S)
TEISSIER-CLEMENT Marie-Pierre
TREVES Richard
TUBIANA-MATHIEU Nicole (C.S)
VALLAT Jean-Michel (C.S)
VALLEIX Denis (C.S)
VANDROUX Jean-Claude (Sur 31/08/2011)
VERGNEGREGRE Alain (C.S)
VIDAL Elisabeth (C.S)
VIGNON Philippe
VIROT Patrice (C.S)
WEINBRECK Pierre (C.S)
YARDIN Catherine (C.S)

CHIRURGIE INFANTILE
 RADIOLOGIE ET IMAGERIE MEDICALE
 ANESTHESIOLOGIE ET REANIMATION CHIRURGICALE
 ANATOMIE ET CYTOLOGIE PATHOLOGIQUE
 BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE
 EPIDEMIOLOGIE, ECONOMIE DE LA SANTE ET PREVENTION
 OPHTALMOLOGIE
 MEDECINE PHYSIQUE ET READAPTATION
 GASTRO-ENTEROLOGIE, HEPATOLOGIE
 OTO-RHINO-LARYNGOLOGIE
 BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLECULAIRE
 ENDOCRINOLOGIE, DIABETE ET MALADIES METABOLIQUES
 RHUMATOLOGIE
 CANCEROLOGIE
 NEUROLOGIE
 ANATOMIE – CHIRURGIE GENERALE
 BIOPHYSIQUE ET MEDECINE NUCLEAIRE
 EPIDEMIOLOGIE-ECONOMIE DE LA SANTE et PREVENTION
 MEDECINE INTERNE
 REANIMATION MEDICALE
 CARDIOLOGIE
 MALADIES INFECTIEUSES
 CYTOLOGIE ET HISTOLOGIE

MAITRE DE CONFERENCES DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

AJZENBERG Daniel
ANTONINI Marie-Thérèse (C.S)
BOURTHOUMIEU Sylvie
BOUTEILLE Bernard
CHABLE Hélène
DURAND-FONTANIER Sylvaine
ESCLAIRE Françoise
FUNALOT Benoît
HANTZ Sébastien
LAROCHE Marie-Laure
LE GUYADER Alexandre
MARIN Benoît
MOUNIER Marcelle
PICARD Nicolas
QUELVEN-BERTIN Isabelle
TERRO Faraj
VERGNE-SALLE Pascale
VINCENT François

PARASITOLOGIE ET MYCOLOGIE
 PHYSIOLOGIE
 CYTOLOGIE ET HISTOLOGIE
 PARASITOLOGIE - MYCOLOGIE
 BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLECULAIRE
 ANATOMIE – CHIRURGIE DIGESTIVE
 BIOLOGIE CELLULAIRE
 BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLECULAIRE
 BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE
 PHARMACOLOGIE CLINIQUE
 CHIRURGIE THORACIQUE ET CARDIO-VASCULAIRE
 EPIDEMIOLOGIE, ECONOMIE de la SANTE et PREVENTION
 BACTERIOLOGIE – VIROLOGIE – HYGIENE HOSPITALIERE
 PHARMACOLOGIE FONDAMENTALE
 BIOPHYSIQUE ET MEDECINE NUCLEAIRE
 BIOLOGIE CELLULAIRE
 THERAPEUTIQUE
 PHYSIOLOGIE

PRATICIEN HOSPITALIER UNIVERSITAIRE

CAIRE François

NEUROCHIRURGIE

P.R.A.G.

GAUTIER Sylvie

ANGLAIS

PROFESSEURS ASSOCIES A MI-TEMPS

BUCHON Daniel
BUISSON Jean-Gabriel

MÉDECINE GÉNÉRALE
 MEDECINE GENERALE

MAITRE DE CONFERENCES ASSOCIE A MI-TEMPS

DUMOITIER Nathalie
PREVOST Martine

MEDECINE GENERALE
 MEDECINE GENERALE

A notre Maître et Président de Jury

Monsieur le Professeur Jean-Paul ADENIS

Professeur des Universités d'Ophtalmologie,
Ophtalmologiste des Hôpitaux, Chef de Service,

Vous me faites l'honneur de présider ce jury et je vous reste infiniment reconnaissante de votre disponibilité, de vos précieux conseils et de l'intérêt que vous avez bien voulu accorder à mes travaux.

Je tiens particulièrement à vous remercier de m'avoir permis dès l'externat de bénéficier de votre savoir, auquel je dois mon choix de spécialité en chirurgie orbito-lacrymo-palpébrale, et de la confiance que vous m'avez témoignée par la suite pendant l'internat.

Votre rigueur dans le travail et dans son organisation, votre qualité dans la transmission de vos connaissances, votre bienveillance envers vos élèves et votre sagesse me seront d'une aide indispensable dans ma future pratique, et je vous prie d'accepter ici le témoignage de ma gratitude et de mon profond respect.

A nos Maîtres et Juges

Monsieur le Professeur Pierre-Yves ROBERT

Professeur des Universités d'Ophtalmologie,
Praticien Hospitalier,

Vous m'avez fait l'honneur de diriger ce travail avec bienveillance et je vous en remercie vivement.

Vos conseils, votre accompagnement et votre disponibilité m'ont été précieux non seulement pour cette tâche, mais aussi tout au long de mon cursus d'interne. Vous avez su me guider, me faire -je l'espère- progresser et me rendre autonome dans le travail scientifique, la réflexion médicale et bien sûr la pratique chirurgicale.

J'ai été particulièrement sensible à la confiance que vous m'avez accordée dès le début de l'internat et à votre investissement à mes côtés, je tiens à vous en remercier chaleureusement.

Pour tout cela, veuillez trouver ici l'expression de mes sincères remerciements et de mon profond respect.

Monsieur le Professeur Denis VALLEIX

Professeur des Universités d'Anatomie et de Chirurgie Générale,
Chirurgien des Hôpitaux, Chef de Service
Doyen de la Faculté de Médecine de Limoges

Vous me faites l'honneur de juger ce travail et je vous en remercie.

Vous m'avez transmis votre savoir dès le début de mon cursus universitaire, puis m'avez acceptée dans votre service au cours de mon premier stage d'internat. Je vous reste infiniment reconnaissante de m'avoir inculqué la rigueur de la réflexion de l'anatomiste et du chirurgien, avec un regard toujours bienveillant et chaleureux.

Monsieur le Professeur Antoine MAUBON

Professeur des Universités de Radiologie,
Chef de Service

Vous me faites l'honneur de juger ce travail et je vous en remercie.

Je vous suis reconnaissante de l'intérêt que vous avez bien voulu porter à mon travail, ainsi que de m'avoir permis de réaliser un stage en Radiologie, qui m'a permis de compléter et d'élargir mes connaissances.

Veillez trouver ici le témoignage de mes remerciements et de mon respect.

Monsieur le Docteur Franck Barthélémy

Praticien hospitalier, Chef de Service

Vous me faites l'honneur de juger ce travail et je vous en remercie.

Vous m'avez transmis avec bienveillance vos connaissances, votre rigueur d'analyse, votre esprit de synthèse et votre diplomatie qui demeureront d'une aide précieuse.

Veillez trouver ici le témoignage de ma reconnaissance et de mon respect.

Monsieur le Docteur Jean-Marie LOUSTAU

Praticien hospitalier, Chef de Service

Vous me faites l'honneur de juger ce travail et je vous en remercie.

Je vous suis également très reconnaissante de m'avoir acceptée dans votre service en stage hors-filière pour un semestre enrichissant et complémentaire à mon cursus. Vous avez accepté de m'aider dans la réalisation de ce travail avec bienveillance et vous m'avez transmis vos connaissances scientifiques, radiologiques et humaines avec rigueur, sagesse et sincérité.

Veillez trouver ici l'expression de mes sincères remerciements et de mon respect.

Je poursuis ces remerciements en témoignant ma gratitude à l'ensemble des personnes qui m'ont aidée et soutenue dans l'élaboration de ce travail, particulièrement :

- Monsieur le Professeur Pierre-Marie PREUX, ainsi que les membres de son équipe du CEBIMER, Anaïs LABRUNIE, ingénieur, et Sandra Gresiak, qui m'ont énormément aidée pour la réalisation de l'analyse statistique et avec lesquels les échanges ont toujours été efficaces, fructueux et sympathiques,
- Monsieur le Professeur Jack ROOTMAN qui a assisté à la soutenance de mon mémoire de DIU de pathologie et chirurgie orbito-lacrymo-palpébrales et qui m'a ensuite livré les pistes méthodologiques nécessaires à la réalisation de ce travail,
- La Bibliothèque Javal, constamment disponible pour me procurer des publications indisponibles par d'autres sources,
- Sans oublier, Sylvain MARTIN, Loïc BOURMAULT et Houssam KHADDOUR, mes co-internes au Centre Hospitalier de Brive, pour leur soutien et leur aide conviviale au quotidien dans le recueil des données.

Je clos enfin ce chapitre en remerciant chaleureusement tous ceux qui ont contribué à ma formation d'interne :

- les services de Chirurgie Viscérale de Monsieur le Professeur VALLEIX, de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique de Monsieur le Professeur ARNAUD, de Neurochirurgie de Monsieur le Professeur MOREAU
- le service d'Ophtalmologie de Monsieur le Professeur ADENIS et toute son équipe, aux consultations, au bloc opératoire et en hospitalisation
- à mes anciens chefs de cliniques d'Ophtalmologie, les Docteurs Laetitia BOIVIN, Fabien PETELLAT, Guillaume CASSE et Amélie SABATIER
- au Docteur Nicolas DOURLHES
- au Docteur Christine CESSOT pour son aide précieuse et les bons moments passés à Limoges et Saint Yrieix

Enfin, je remercie chaleureusement ma famille et mes amis de m'avoir aidée et soutenue tout au long de mon cursus.

Je tiens particulièrement à remercier ma maman, Corinne, mon papa, Jacques, mes grands-parents, Janine et Georges, qui m'ont soutenue depuis toujours dans mes choix et dans ma vie, ainsi que mes arrières grands-parents aujourd'hui disparus.

J'ai également une pensée particulière pour Stéphan, Rachel, Thuy, Justine... et l'ensemble de mes ami(e)s qui sont toujours présent(e)s à mes côtés depuis de nombreuses années!

Pour Christophe, mon alter-ego

ETUDE COMPARATIVE ENTRE 3 EXOPHTALMOMETRES ET BIOMETRIES TOMODENSITOMETRIQUES

SOMMAIRE

I) INTRODUCTION, GENERALITES :

- 1) Rappels anatomiques
- 2) Historique
- 3) Définition de l'exophtalmométrie
- 4) Mesures considérées comme normales
- 5) Variations intra-observateur
- 6) Variations inter-observateurs et techniques de mesures
- 7) Variations inter-instruments
- 8) Erreurs de parallaxe
- 9) Intérêt des exophtalmomètres à un miroir ou à prisme
- 10) Meilleure fiabilité pour certaines valeurs ?
- 11) Biométrie tomодensitométrique : définition, méthodes de réalisation

II) MATERIELS ET METHODES :

- 1) Etude préliminaire
- 2) Calcul du nombre de sujets nécessaires
- 3) Type d'étude réalisée
- 4) Définition de la population étudiée

- 5) Observateurs et instruments étudiés
- 6) Techniques de mesures
- 7) Biométries tomodensitométriques
- 8) Objectif principal et critère de jugement principal
- 9) Objectifs secondaires
- 10) Méthodes d'analyse statistique

III) RESULTATS

- 1) Analyse descriptive des variables
- 2) Analyse statistique principale
- 3) Analyses statistiques secondaires

IV) DISCUSSION

- 1) Discussion autour du critère de jugement principal
- 2) Discussion autour des critères de jugements secondaires

V) CONCLUSIONS

VI) ANNEXES : 1 à 10

VII) REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

I) INTRODUCTION, GENERALITES :

I-1) Rappels anatomiques :

Cavités creusées à la partie haute du massif facial, de part et d'autre des fosses nasales et des labyrinthes ethmoïdaux, les orbites forment la partie antérieure du crâne osseux.

Leur grand axe oblique en avant et en-dehors donne un champ de vision important ainsi que la possibilité d'une vision binoculaire (1).

L'orbite osseuse est constituée de sept os : les os frontal, zygomatique, sphénoïde, ethmoïde, maxillaire, lacrymal et palatin, unis par des sutures solides.

- La paroi supérieure de l'orbite ou plafond orbitaire, est constituée de deux os : en avant la portion orbito-nasale de la face latérale de l'os frontal, et en arrière la face inférieure de la petite aile de l'os sphénoïde, unie à l'os frontal par la suture sphéno-frontale. Dans sa partie antérieure, frontale, elle présente la fosse de la glande lacrymale, et au niveau de son angle antéro-médial, l'épine trochléaire, en rapport avec la trochlée du muscle oblique supérieur. Mince dans sa partie centrale, cette paroi sépare l'orbite de la fosse crânienne antérieure.

- La paroi latérale de l'orbite est dirigée en arrière et en dedans. Trois os participent à sa constitution : en avant s'unissent l'os frontal en haut et l'os zygomatique en bas, par la suture fronto-zygomatique. Près du bord antérieur de la face orbitaire de l'os zygomatique se trouve le tubercule orbitaire (de Whitnall) où s'insère le ligament palpébral latéral. En arrière, la face orbitaire de la grande aile de l'os sphénoïde vient s'unir à l'os frontal par la suture sphéno-frontale et à l'os zygomatique par la suture sphéno-zygomatique. La grande aile de l'os sphénoïde constitue les deux-tiers postérieurs de la paroi latérale et forme la limite inférieure de la fissure orbitaire supérieure, et la limite postérieure de la fissure orbitaire inférieure.

- La paroi inférieure de l'orbite, ou plancher orbitaire, est dirigée en bas, en avant et latéralement, et n'existe qu'au niveau des deux-tiers antérieurs de l'orbite. La face orbitaire de l'os zygomatique en avant et latéralement, et la face orbitaire de l'os maxillaire participent à sa constitution. La suture zygomatoco-maxillaire les réunit. En arrière, une étroite surface osseuse, le processus orbitaire de l'os palatin vient s'unir à l'os maxillaire (suture palato-maxillaire). Le sillon infra-orbitaire parcourt cette paroi dans sa partie postérieure. Il devient en avant le canal infra-orbitaire s'enfonçant dans l'os, et s'ouvre 5 à 6 mm sous le bord infra-orbitaire en formant le foramen infra-orbitaire, 3 cm en-dehors de la ligne médiane. Ils

contiennent le nerf infra-orbitaire, branche terminale du nerf maxillaire, et les vaisseaux infra-orbitaires.

- La paroi médiale de l'orbite est constituée par 4 os disposés d'avant en arrière : la face latérale du processus frontal de l'os maxillaire qui présente la crête lacrymale antérieure, la face latérale de l'os lacrymal (unguis) séparée en deux parties par la crête lacrymale postérieure, la lame orbitaire (ou papyracée) de l'os ethmoïde et la partie antérieure de la face latérale du corps de l'os sphénoïde. L'espace compris entre les deux crêtes lacrymales correspond à la fosse du sac lacrymal. Sur la crête lacrymale postérieure vient s'insérer la septum orbitaire, limitant en avant l'orbite.

L'orbite osseuse est également définie par quatre bords : supéro-médial, inféro-médial, supéro-latéral et inféro-latéral (1, 2 et 3).

Le contenu orbitaire correspond aux différentes structures de la vision contenues dans l'orbite osseuse doublée du périoste orbitaire. En avant, la limite entre l'orbite et les paupières est définie par le septum orbitaire.

- Le globe oculaire est de forme sphérique, mesurant 24 mm de diamètre en moyenne. Il est situé à la partie antérieure de l'orbite, qu'il déborde en avant dans le plan horizontal. Le globe oculaire n'est pas centré dans l'orbite car il est plus proche des parois latérales (6mm) et supérieures (9 mm) que des parois inférieure et médiale (11mm). L'axe du globe oculaire, visuel, antéro-postérieur, forme avec l'axe orbitaire, dirigé en avant et en-dehors, un angle de 23° en moyenne.

- Le nerf optique ou 2^e nerf crânien est à proprement parler une expansion extra-crânienne du système nerveux central. Il prend naissance au niveau de la papille optique à la partie postérieure du globe oculaire, puis présente une partie intra-orbitaire, avec un trajet en S, une partie intra-canalair puis une partie intra-crânienne jusqu'au chiasma optique.

- Les muscles de l'orbite sont au nombre de sept muscles striés, prenant tous naissance au fond de l'orbite sauf le muscle oblique inférieur. Tout d'abord, le muscle releveur de la paupière supérieure est innervé par la branche supérieure du nerf oculo-moteur III. Les muscles oculo-moteurs comportent les 4 muscles droits s'insérant en avant de l'équateur du globe oculaire : droits supérieur, inférieur, médial (innervés par le III) et latéral (innervé par le nerf abducens VI). Ils comprennent également les muscles obliques s'insérant en arrière de l'équateur : oblique supérieur (innervé par le nerf trochléaire IV) et oblique inférieur (innervé par le III).

- La gaine du globe oculaire ou capsule de Tenon est une membrane fibro-élastique qui recouvre la sclère du limbe de la cornée au nerf optique. C'est un espace de glissement formé de deux feuillets. Les 6 muscles oculo-moteurs la perforent pour s'insérer sur la sclère.

Chaque muscle est entouré, de même que le muscle releveur de la paupière supérieure, par une gaine ou fascia musculaire qui lui est propre. Ils sont reliés entre eux par une expansion, la membrane ou fascia inter-musculaire. Cet ensemble délimite le cône fascio-musculaire.

- La glande lacrymale principale est constituée de deux parties : orbitaire, située dans la fosse de la glande lacrymale, et palpébrale moins développée.

- La vascularisation artérielle de l'orbite est assurée en quasi-totalité par les branches de l'artère ophtalmique, issue du système carotidien interne, et en partie par des branches du système carotidien externe, en particulier par l'artère infra-orbitaire.

- La vascularisation veineuse de l'orbite est assurée essentiellement par la veine ophtalmique supérieure, et en moindre mesure par les veines ophtalmiques moyenne et inférieure, qui se drainent dans le sinus caverneux.

- La vascularisation lymphatique de l'orbite se termine dans les nœuds parotidiens, en particulier le nœud pré-auriculaire.

- Les nerfs de l'orbite comprennent des nerfs moteurs destinés aux muscles, et des nerfs sensitifs, branches du nerf trijumeau. Trois nerfs crâniens assurent l'innervation motrice des sept muscles de l'orbite. Le nerf oculo-moteur ou III^e nerf crânien innerve les muscles droits supérieur, inférieur, médial, les muscles oblique inférieur et releveur de la paupière supérieure, et son contingent parasymphatique moteur innerve le muscle ciliaire et le sphincter de l'iris. Le nerf trochléaire ou IV^e nerf crânien innerve le muscle oblique supérieur. Enfin le nerf abducens ou VI^e nerf crânien innerve le muscle droit latéral. Seul le nerf trijumeau ou V^e nerf crânien prend en charge l'innervation sensitive par les 3 branches terminales de sa première branche, le nerf ophtalmique (V1) : les nerfs frontal, lacrymal et naso-ciliaire. L'origine des III et IV se trouve dans le mésencéphale, celle du VI dans la protubérance. Tous ces nerfs cheminent dans la loge caverneuse et pénètrent dans l'orbite par la fissure orbitaire supérieure. Les nerfs intra-coniques traversent alors l'anneau de Zinn : les 2 branches du nerf oculo-moteur, les nerfs abducens et nasociliaire, alors que ceux qui ne le traversent pas sont extra-coniques : les nerfs lacrymal, frontal et trochléaire (1, 2 et 3).

Les schémas anatomiques descriptifs de l'orbite se trouvent en ANNEXES 1, 2 et 3.

1-2) Historique :

Obtenir des exophthalmométries exactes et reproductibles revêt une importance reconnue en pratique clinique.

Historiquement, c'est Cohn qui induisit le premier l'idée de mesurer la protrusion oculaire en 1865 (4 et 5) et créa un instrument appelé initialement « *ophthalmoprostatometer* », reposant sur les rebords orbitaires latéraux. En 1867, il fabriqua un autre instrument plus compliqué, reposant sur les rebords orbitaires supérieurs (5).



Fig. 1 : Illustration extraite de l'article de Drews, American Journal of Ophthalmology 1957 (5)

Puis plusieurs instruments ont été développés à cet effet dans les années suivantes (4, 5) : par Emmert en 1870, Zehender, Keyser, puis Birch-Hirschfeld en 1900 (5).

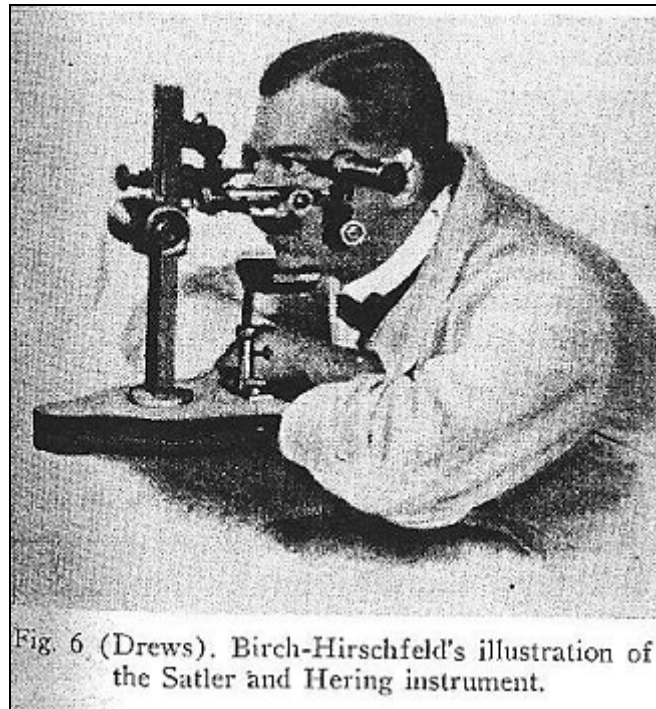


Fig. 2 : Illustration extraite de l'article de Drews, montrant l'instrument de Satler et Hering, schématisée par Birch-Hirschfeld (5)

Mais l'instrument le plus utilisé reste l'exophtalmomètre décrit initialement par **Hertel** en 1905 (5, 6), avec lequel on peut mesurer la position du globe par rapport au rebord orbitaire antéro-latéral, grâce à un système de miroirs. Il permet de mesurer la distance entre une ligne théorique verticale passant par la surface du front, et par chaque rebord orbitaire latéral, et une ligne tangente à la partie antérieure de la cornée. C'est un instrument simple, constitué de deux appuis latéraux reposant sur les rebords orbitaires externes et de deux miroirs inclinés et gradués sur lesquels se reflètent, de profil, les cornées du patient, permettant un examen toujours bilatéral et comparatif.

D'autres appareils ont été décrits par la suite, comme celui de Knapp en 1922, de Schoenberg en 1935, puis celui de Luedde en 1938, instrument simple, qui reste encore largement utilisé de nos jours.

Au total, plus de 40 exophtalmomètres différents avec diverses modifications ont été décrits dans la littérature depuis 1865.

I-3) Définition de l'exophtalmométrie :

L'exophtalmométrie peut être définie comme la mesure de la distance entre deux plans parallèles, l'un tangent à l'apex cornéen avec l'œil en position primaire, l'autre passant au niveau du rebord orbitaire latéral (7).

Elle permet d'obtenir une mesure quantitative clinique de la position du globe dans l'orbite. Etymologiquement, le terme « exophtalmie », ou « *exophthalmos* » (ou bien « proptosis ») en Anglais, provient du Grec et signifie « protrusion oculaire ».

L'intérêt d'une exophtalmométrie quantitative fiable réside notamment dans les mesures répétées réalisées, par exemple, lors du suivi de patients présentant une orbitopathie dysthyroïdienne. L'exophtalmie doit alors être distinguée d'une fausse exophtalmie liée à une rétraction palpébrale.

Ainsi, l'exophtalmométrie est un élément du suivi des pathologies orbitaires, associée à un examen ophtalmologique complet et à divers examens complémentaires comme le champ visuel et les techniques d'imagerie orbitaire.

On définit trois façons d'interpréter les mesures d'exophtalmométrie : l'exophtalmométrie absolue, relative et comparative (5, 8).

- l'exophtalmométrie **absolue** est la comparaison des mesures effectuées avec les valeurs normales
- l'exophtalmométrie **relative** est la comparaison des mesures entre l'œil droit et l'œil gauche
- l'exophtalmométrie **comparative** est la comparaison de mesures d'exophtalmométrie itératives dans le temps.

I-4) Mesures considérées comme « normales » :

La **protrusion normale des globes** mesurée à l'appareil de Hertel est de :

- 15,4 mm chez les femmes blanches,
- 16,5 chez l'homme blanc,

- 17,8 chez les femmes noires,
- 18,5 chez les hommes noirs dans l'étude de **Migliori** en 1984 (9).

Ces chiffres sont analogues dans l'étude de Knudtzon de 1949 (10), et globalement comparables à l'étude réalisée par Barretto en 1999 à Détroit, Michigan USA (11) qui retrouvait une différence significative entre les valeurs de protrusion oculaire chez les hommes noirs (18,23 +/- 2,26 mm) et les hommes blancs (17,27 +/- 2,65 mm) avec $p < 0,025$.

Les limites considérées comme supérieures de la normale sont, dans l'étude de Migliori (9) :

- 20,1 mm chez les femmes blanches,
- 21,7 mm pour les hommes blancs,
- 24,7 mm pour les hommes noirs
- et 23,0 mm pour les femmes noires.

Une asymétrie supérieure à 2 mm entre les 2 yeux est considérée comme anormale.

	Mesures normales (mm)	Limite supérieure de la normale (mm)
Hommes blancs	16,5	21,7
Hommes noirs	18,5	24,7
Femmes blanches	15,4	20,1
Femmes noires	17,8	23

Fig. 3 Tableau récapitulatif de l'étude de Migliori (9) concernant les valeurs normales de protrusion oculaire dans diverses populations

Une étude du même type a été faite par Juan et Hurley en 1980, utilisant, cette fois-ci, un exophtalmomètre de Luedde, et retrouvait des limites supérieures à la normale de, respectivement, 19 et 21 mm pour les femmes et hommes blancs, et de 23 et 24 mm pour les femmes et hommes noirs (12).

Ainsi de nombreux auteurs ont tenté de déterminer les valeurs « normales » de protrusion oculaire dans diverses populations : d'Arabie Saoudite, Chinoise de Hong Kong, Iranienne,

Indienne, Zaïroise, Turque notamment (13, 14, 15, 16, 17, 18), en utilisant généralement un exophtalmomètre de type Hertel.

Cependant, ces études doivent être interprétées avec une grande attention pour plusieurs raisons : variations entre les appareils utilisés, différences dans la taille des échantillons de population et dans leur définition. Nous pouvons malgré cela en déduire globalement que les mesures d'exophtalmométrie moyenne sont plus grandes chez les sujets noirs que chez les sujets caucasiens, et qu'elles sont plus élevées chez les sujets caucasiens que chez les sujets asiatiques. De plus, les mesures d'exophtalmométrie moyennes sont plus grandes chez les hommes que chez les femmes.

Mais Hertel lui-même s'interrogeait, dès l'introduction de cet appareil, sur sa capacité à réaliser des mesures exactes, et conseilla de l'utiliser surtout comme instrument de suivi (6 et 19).

I-5) Variations intra-observateur :

Peu d'études ont été réalisées afin d'évaluer la reproductibilité des mesures par un même observateur.

Nous retenons particulièrement l'étude menée par Lam et Lam en 2009 en Chine (8). Les mesures ont été effectuées sur 60 patients avec un exophtalmomètre à un miroir, par deux observateurs, l'un réalisant deux séries de mesures, l'autre une seule série. Les résultats montrent une bonne reproductibilité des mesures intra-observateur, alors que cela n'est pas le cas en inter-observateurs :

- la différence intra-observateur moyenne pour la mesure de la distance bicanthale externe était de $-0,26 \pm 1,69$ mm, non significative avec $p > 0,05$
- la différence intra-observateur pour la mesure d'exophtalmométrie était de $-0,01 \pm 0,61$ mm pour les yeux droits et de $0,09 \pm 0,56$ mm pour les yeux gauches, ce qui est non significatif avec $p > 0,05$.
- la différence inter-observateurs moyenne pour la mesure de la distance bicanthale externe était de $-0,96 \pm 3,26$ mm ($p < 0,05$)

- la différence moyenne pour les mesures d'exophtalmométrie était de -0,61 +/- 0,89 mm pour les yeux droits et de -0,49 +/- 0,80 mm pour les yeux gauches : la différence est significative avec $p < 0,05$ pour les deux yeux.

I-6) Variations inter-observateurs et techniques de mesure :

Tout d'abord, tous les spécialistes s'accordent à reconnaître l'existence d'importantes **variations inter-observateurs**, avec une fréquence de **25 à 70%** (20). Celles-ci ont tendance à diminuer avec l'expérience de l'observateur, mais cela ne suffit pas complètement à les annuler.

Musch et Frueh ont réalisé en 1985 une étude dans le but de **quantifier et de caractériser les variations inter-observateurs** ainsi que d'**évaluer l'impact de l'expérience** de l'observateur sur ces variations (21). 197 yeux ont été mesurés par quatre observateurs de niveaux d'expérience différents sur une période de trois semaines. Ils ont mis en évidence de conséquentes variations inter-observateurs, avec sous-estimation des mesures par l'observateur le moins expérimenté, et surestimation par le plus expérimenté, en comparaison aux mesures réalisées par l'observateur « sénior ». Au fur et à mesure de l'étude, la fiabilité des mesures de l'observateur le moins expérimenté a augmenté.

D'autre part, O'Donnell et Viridi ont essayé de déterminer la **technique de mesure la plus appropriée** en comparant deux différentes techniques de mesures avec le même appareil de type Hertel (de marque KEELER®), par deux observateurs de niveaux d'expérience différents (20), réalisant tour à tour les mesures sur 50 patients.

Les deux techniques de mesure testées étaient :

- celle qui est utilisée fréquemment en pratique courante et qui consiste à aligner l'apex cornéen avec le cône de référence sur l'exophtalmomètre, et noter la position de cet alignement sur la règle millimétrée
- celle recommandée par le fabricant, en l'occurrence KEELER®, qui demande à ce que le cône de référence soit aligné avec la ligne

(rouge) de référence sur la règle millimétrée, puis que la position de l'apex cornéen soit notée sur la règle graduée.

Ils ont montré d'importantes variations inter-observateurs à la fois en fonction de l'expérience de l'observateur et en fonction de la technique utilisée. En effet, il existait une différence significative entre les mesures faite par l'observateur le plus expérimenté avec les 2 méthodes. Le pourcentage d'accord inter-observateurs pour les mesures de chaque œil avec chaque technique de mesure était de 60-70% avec la première méthode et de 30-40% avec la deuxième méthode.

Ainsi, **les deux techniques de mesure ne peuvent être utilisées de manière interchangeable**, comme nous allons le voir plus loin.

Ainsi, les règles de bonne pratique afin de minimiser les variations inter-observateurs sont les suivantes : (21) :

- **Au minimum, noter le modèle** d'instrument (et son fabricant) lors de la première mesure, afin qu'un autre observateur puisse réaliser des mesures avec le même type d'appareil
- Mais, idéalement, le **même instrument** doit être utilisé lors des mesures itératives, de préférence par le **même observateur**
- Noter la **distance bicanthale externe**, et se baser sur celle-ci lors des mesures ultérieures
- La **même technique de mesure** doit être utilisée lors de chaque nouvelle exophtalmométrie.
- Idéalement, l'observateur doit suivre les recommandations suivantes : **en vision monoculaire, avec un angle de visée perpendiculaire au plan frontal, aligner l'encoche de référence avec la ligne tracée sur le miroir de l'instrument, avant de lire la position de l'apex cornéen**. En effet, cela permet des mesures plus fiables que la technique la plus couramment utilisée et qui consiste simplement en l'alignement de l'apex cornéen avec l'encoche, puis la lecture de la mesure sur l'échelle graduée (20).

Dans l'étude de Lam et Lam citée précédemment (8), les auteurs retrouvaient une bonne reproductibilité intra-observateur des mesures d'exophtalmométrie, alors que cela n'était pas le cas en inter-observateur. L'une des hypothèses avancées pour expliquer cela était la bonne

reproductibilité intra-observateur des mesures de distance bicanthale externe, alors qu'elle était mauvaise entre les deux observateurs.

Cela semble confirmer la nécessité de reproduire la même mesure de distance bicanthale externe lors de mesures itératives.

En revanche, Kashkouli retrouvait dans son étude de 2003 une bonne concordance inter-observateurs avec un exophtalmomètre de Hertel (23), avec des variations que l'auteur considérait comme négligeables et inévitables. Dans cette étude, 1063 sujets normaux ont été testés par deux observateurs de niveaux d'expérience différents. Le pourcentage d'accord entre les 2 observateurs, en acceptant une variation de +/- 1 mm, était de 60%. Ainsi l'auteur concluait à une bonne reproductibilité des mesures d'exophtalmométrie réalisée avec l'appareil de Hertel.

D'autre part, l'influence de la façon de réaliser les mesures par l'examineur a été étudiée par H. Ameri et S. Fenton, notamment en comparant l'exophtalmométrie unilatérale répétée de chaque côté, à l'exophtalmométrie bilatérale simultanée, en utilisant un exophtalmomètre de type Hertel (24). Quand l'exophtalmométrie est réalisée de manière simultanée pour les 2 yeux, l'observateur a tendance à obtenir des mesures similaires à droite et à gauche, cela crée donc un biais de lecture qui peut réduire la fiabilité des mesures: **il faut donc privilégier l'exophtalmométrie unilatérale successive pour chaque côté.**

I-7) Variations inter-instruments :

De plus, il existe de nombreux modèles d'exophtalmomètres commercialisés, et cela est responsable de confusion, voire de mesures inexactes : il existe donc de notables **variations inter-instruments**, connues et étudiées dès 1957 par Drews notamment (5).

Celui-ci avait noté qu'aucune étude n'avait évalué clairement l'exactitude des divers appareils existants et avait construit un modèle permettant une évaluation entre deux appareils de type Hertel et de marque différente (KRAHN et ZEISS), une baguette de Luedde, une simple règle graduée et l'instrument qu'il avait développé. Les résultats montraient d'importantes variations inter-instruments et l'auteur tirait alors des conclusions pour minimiser le risque d'erreurs largement reprises par la suite, comme nous le verrons.

Par la suite, dans son étude de 1970, **Davanger** mettait déjà en évidence les différents types d'erreurs de mesures pouvant être induites lors d'exophtalmométries (25).

Tout d'abord, il rappelait que les mesures d'exophtalmométrie étaient basées sur la relation entre 2 points de référence : l'un sur le globe oculaire, l'autre sur le crâne. Le point de référence sur le globe a très simplement et logiquement été défini comme l'apex cornéen (Cohn 1865), alors que la définition de l'autre point sur le crâne a davantage varié selon les divers instruments développés et les époques. Cependant, la plupart des exophtalmomètres mesurent la distance de l'apex cornéen à un plan frontal passant par le point le plus interne du rebord orbitaire latéral.

En pratique, il existe deux possibilités de définir ce plan frontal et ainsi il existe deux différents types d'exophtalmomètres :

- le premier type est une simple règle graduée, placée alternativement du côté droit puis gauche, comme l'exophtalmomètre de Luedde (26). Avec cet appareil, mesures sont faites à partir d'un plan frontal qui est parallèle et que l'on peut nommer « le plan facial »
- le second type est constitué de deux règles qui sont placées sur les 2 côtés droit et gauche en même temps, comme l'exophtalmomètre de Hertel (6). Avec ce type d'appareil, les mesures se font avec un plan frontal de référence qui est défini par 2 points : les points les plus internes des rebords orbitaires droit et gauche.

Les problèmes techniques suivants dans les mesures d'exophtalmométrie étaient mis en évidence par Davanger :

- le point zéro de l'échelle graduée doit être placé sur le plan frontal décrit ci-dessus
- l'échelle doit être placée à l'horizontale dans le plan sagittal
- les apex cornéens doivent être projetés sur l'échelle sans erreur de parallaxe
- une lecture exacte de la projection des apex cornéens doit être obtenue.

a) Position du point zéro :

- Pour les exophtalmomètres de type Luedde, il est assez simple, en principe, de placer le point zéro en bonne position sur le rebord orbitaire latéral. Cependant, certains instruments sont mal confectionnés, et l'extrémité de la règle ne correspond pas au point zéro.
- Pour les exophtalmomètres de type Hertel, le problème de placer le point zéro en bonne position n'est pas simple : le design de la plateforme qui doit s'appliquer sur les rebords orbitaires externes revêt une grande importance. En effet, pour de nombreux exophtalmomètres commercialisés de ce type (comme ceux de marque OCULUS®), il n'y a pas de repère sur la plateforme pour indiquer clairement la position correspondant au point zéro sur la règle. Ainsi si l'on applique l'exophtalmomètre trop médialement (de 2 mm), Davanger a démontré qu'il en résultait une mesure d'exophtalmométrie surestimée (de 3,8 mm).

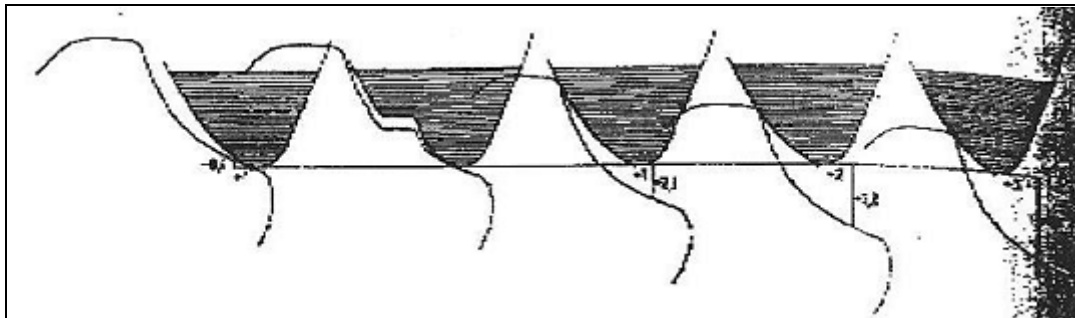


Fig.4 : Illustration extraite de l'article de Davanger, Acta Ophthalmologica 1970 (25), montrant l'effet de la position de la plateforme de l'exophtalmomètre de type Hertel en relation avec le rebord orbitaire latéral en fonction des variations anatomiques de celui-ci (5 exemples de profils de rebords orbitaires externes sont schématisés ici)

b) Direction de la règle :

La baguette de Luedde est appliquée perpendiculairement contre le rebord orbitaire latéral mais un certain degré de déviation peut être réalisé. Davanger en a déduit une équation permettant de calculer l'erreur induite par le degré de déviation par rapport au plan sagittal. Par exemple, une déviation de $+10^\circ$ sur une protrusion de 18 mm va induire une sous-estimation de -3,7 mm de la valeur réelle, soit 14,3 mm à la lecture sur la baguette de Luedde.

c) Problème des erreurs de parallaxe :

L'erreur de parallaxe est l'un des problèmes majeurs pour la fiabilité et la reproductibilité des mesures d'exophtalmométrie.

Il a été largement mis en évidence par Davanger tant pour l'exophtalmomètre de Luedde que de Hertel (25).

L'erreur de parallaxe fait l'objet du chapitre suivant.

En résumé, la plupart des exophtalmomètres projettent une image de l'apex cornéen sur une échelle graduée, ce qui permet de lire la distance de l'apex au rebord orbitaire. Le système habituel utilise un miroir placé à 45° d'un plan sagittal par rapport à la tête, ou de prismes positionnés de façon similaire à une surface réfléchive (4).

Cela permet à l'examineur, qui fait face au patient, de voir la surface antérieure de la cornée tangentiellement, alors que le patient regarde droit devant.

Les facteurs qui peuvent affecter l'efficacité et la reproductibilité de la lecture sont (4) :

- la nécessité du positionnement horizontal de l'instrument
- le fait de bien positionner l'instrument sur les rebords orbitaires, avec une pression suffisante
- la nécessité que le patient regarde strictement droit devant
- la symétrie variable des rebords orbitaires
- l'importance d'utiliser le même type d'instrument, et au mieux, le même instrument, lors de mesures répétées.

Ainsi, **TJ Sleep et RM Manners** ont étudié en 2002 la variabilité des mesures inter-instruments en comparant différents modèles d'exophtalmomètres entre eux (22).

Comme nous l'avons vu précédemment, les variations de mesures inter-instruments sont réduites en utilisant le même modèle d'instrument à chaque examen pour le même patient.

Cette étude a été réalisée pour **mettre en évidence d'éventuelles variations lorsqu'on utilise des instruments du même type et du même fabricant sur le même patient.**

Dix exophtalmomètres de type Hertel de trois fabricants différents (KEELER®, OCULUS® et RODENSTOCK®) ont été comparés, en prenant les mesures sur une tête en plastique standard, légèrement asymétrique. Tous les exophtalmomètres possédaient des miroirs marqués d'une ligne verticale, pour aider à réduire les erreurs de parallaxe, comme l'a décrit Davanger (25). De plus, les erreurs de mesure de la distance bicanthale externe ont été minimisées en marquant d'un point des rebords orbitaires externes. La tête modélisée n'était pas symétrique, donc on ne s'attendait pas à obtenir de mesures égales de façon bilatérale. Ainsi, 4 mesures successives ont été prises pour chacun des 10 instruments, par le même observateur, sur une période de 2 semaines.

Enfin, on constate des **variations inter-instruments de même design, y compris entre ceux ayant le même fabricant**, que ce soit pour la mesure de la distance bicanthale externe ou de la protrusion des globes (jusqu'à 4 mm).

Instrument	Fabricant (F)	Œil droit : valeurs extrêmes	Œil droit : moyenne (n = 4 mesures)	Différence moyenne droite/gauche	Œil gauche : valeurs extrêmes	Œil gauche : moyenne (n = 4 mesures)
1	F1	14-14,5	14,3	0,7	15,0	15,0
2	F1	12-12,5	12,4	1,6	14,0	14,0
3	F1	12-12,5	12,1	2,4	14-15	14,5
4	F1	12-12,5	12,3	1,5	13,5-14	13,8
5	F1	13-13,5	13,1	0,8	13,5-14	13,9
6	F1	12,5-13	12,9	-0,8	12-12,5	12,1
7	F1	12-12,5	12,3	0,6	12,5-13	12,9
8	F2	11-11,5	11,1	1,0	12-12,5	12,1
9	F3	10-11	10,5	0,9	11-11,5	11,4
10	F3	10-10,5	10,4	0,7	11-11,5	11,1

Fig.5 : Tableau récapitulatif de l'étude de Sleep (22) reprenant les valeurs et les moyennes notées pour chaque appareil évalué

1-8) Erreurs de parallaxe :

Le principal facteur d'erreurs de mesures, lorsque ces conditions sont respectées, est ce que l'on appelle l'**erreur de parallaxe**. Il s'agit d'un **changement apparent de la position d'un objet quand la personne regardant l'objet change de position**.

Selon la géométrie de l'instrument, des mesures fiables ne peuvent être prises que lorsque le point zéro fait face au rebord orbitaire, ce qui est particulièrement difficile en cas d'œdème des parties molles ou de fractures des rebords orbitaires. L'instrument nécessite que l'échelle graduée soit correctement orientée dans le plan sagittal.

C'est pourquoi des systèmes permettant de remédier à ce problème ont été développés et utilisés lors de fractures du cadre orbitaire, notamment par Kratky (27), permettant un suivi clinique de l'exophtalmométrie malgré les lésions traumatiques du rebord orbitaire latéral. En effet, lorsque celui-ci est lésé, cela génère une asymétrie, et donc une mauvaise définition du plan frontal de référence, pouvant conduire à des erreurs de mesures avec des appareils de type Hertel (25). Ainsi, il est alors nécessaire de définir un point de référence sur le crâne, différent du rebord orbitaire externe.

De même, un exophtalmomètre prenant appui sur les rebords orbitaires supérieur et inférieur a été développé par Naugle et Couvillion (28).

Yeatts a développé, quant à lui, un exophtalmomètre de Hertel modifié, utilisant le conduit auditif externe comme point de référence, intéressant lors de lésions zygomatoco-maxillaires post-traumatiques ou chirurgicales (29). Lors d'évaluation de son nouvel instrument, l'auteur n'a pas montré de différence significative en le comparant avec l'appareil de Hertel pour des mesures répétées sur 120 sujets sains.

Enfin, Kohout a décrit un nouvel instrument pour réaliser des anthropométries orbitaires (30). Il consiste en une base de lampe à fente sur laquelle repose la tête du patient et où des règles graduées sont montées sur trois axes mobiles indépendant. Il a montré une bonne concordance intra- et inter-observateurs, de même qu'une bonne corrélation par rapport aux mesures scanographiques.

Ainsi, comme nous l'avons vu, des erreurs de parallaxe peuvent être introduites quand la mesure est prise alors que le miroir n'est pas correctement aligné avec le cône de référence avant la lecture de la position de l'apex cornéen (22).

En pratique, des variations de 1,0 mm pour des mesures d'exophtalmométrie réalisées avec le même instrument, par le même examinateur, sur le même patient (21, 22) peuvent être considérées comme acceptables.

Donc, depuis l'avènement de l'exophtalmométrie, de très nombreux auteurs s'accordent à reconnaître de nombreuses difficultés dans la réalisation, reproductibilité et fiabilité de ces mesures.

Ainsi, dès 1957, Drews montrait dans son étude l'erreur générée par les exophtalmomètres de type Hertel (5), et donnait une formule exprimant l'erreur possible quand les deux cornées sont dans le même plan horizontal, alors que les rebords orbitaires sont asymétriques.

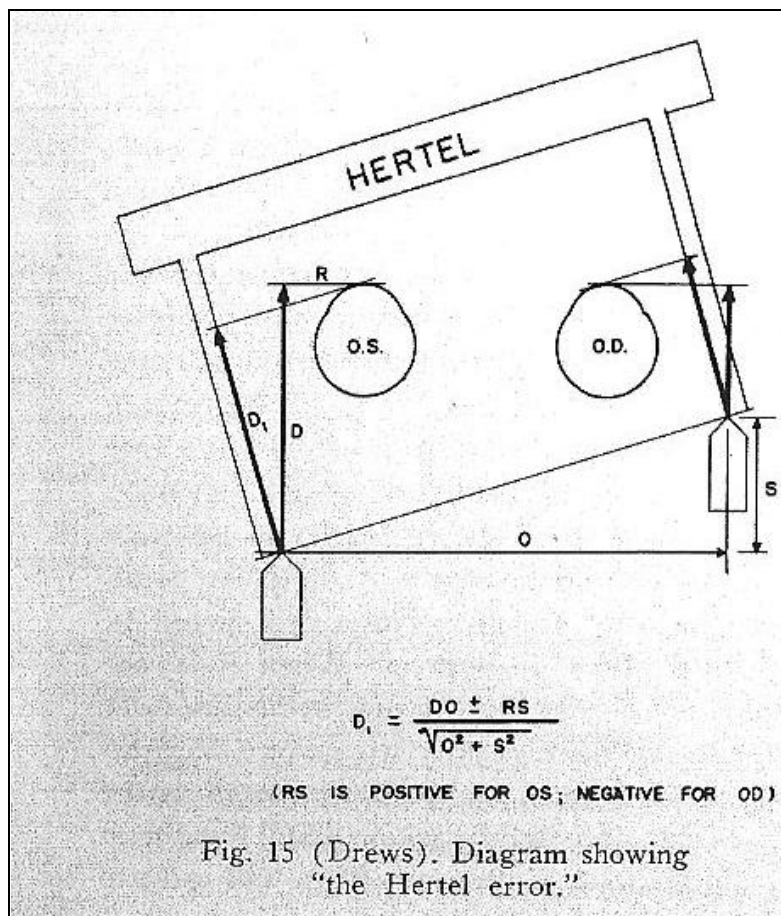


Fig.6 : Illustration extraite de l'article de Dredws en 1957, montrant l'erreur de parallaxe générée par l'exophthalmomètre de Hertel, exprimée par une formule mathématique (5)

De même, Davanger a mis en évidence ce type d'erreur pour les appareils de Luedde et de Hertel (25) :

- Pour la baguette de Luedde, le problème fondamental est de la positionner correctement selon un angle droit par rapport au rebord orbitaire latéral. Pour ce faire, il est nécessaire d'aligner les 2 échelles graduées visibles de part et d'autre de la réglette transparente et de bien les faire coïncider. Cependant, Davanger a testé plusieurs types de baguettes de Luedde (7 instruments différents) et a noté que la position relative des 2 échelles graduées gravées sur la baguette peut varier de $0,6^\circ$. Ainsi l'auteur en a déduit une équation permettant de calculer l'erreur de parallaxe induite.
- Quant à l'exophthalmomètre de Hertel, celui-ci est placé dans un plan frontal, en reposant sur les rebords orbitaires externes. Les apex cornéens sont vus de profil grâce à un système de miroirs placés à 45° par rapport aux rebords orbitaires latéraux, et ainsi les apex cornéens sont projetés sur une échelle graduée millimétrique.

Si la direction du regard dévie du plan sagittal, les apex cornéens seront encore projetés sur le même point de la règle. La condition à la réalisation de ce phénomène est que la distance entre le plan de la règle et le rebord orbitaire latéral soit la même que la distance entre les apex cornéens et le plan sagittal passant par les rebords orbitaires latéraux.

Hertel avait notion de ce problème dès la fabrication de son instrument et savait que cette distance était de 20 mm.

L'erreur de parallaxe est donc introduite quand la distance entre les apex cornéens et le plan sagittal passant par le rebord orbitaire externe varie par rapport à la valeur de référence de 20 mm. Une équation en a été déduite par l'auteur, permettant le calcul de cette erreur. Ainsi, l'erreur x peut être calculée par la formule suivante : $x = \Delta a \operatorname{tg} \alpha$.

Nous retenons ici 2 articles récents de référence permettant une approche intéressante et nouvelle de la problématique liée à ces mesures, traités dans les chapitres suivants.

I-9) Intérêt des exophtalmomètres à un miroir ou à prisme :

Tout d'abord, une étude concernant l'effet du design des différents exophtalmomètres sur leur exactitude a été menée par **Y Vardizer, T Berendschot et MP Mourits** (19) en 2005.

Huit exophtalmomètres de trois fabricants différents (ZEISS®, KEELER® et OCULUS®) ont été comparés, sur un calibre conçu pour cette recherche, et non sur des patients, afin de minimiser les erreurs potentielles liées aux mouvements de tête du patient, aux tissus mous au niveau des rebords orbitaires externes ou aux variations de pression sur ceux-ci avec les appareils entre les observateurs. Les mesures ont été réalisées par trois observateurs expérimentés. Les 8 exophtalmomètres testés étaient de type Hertel, avec contact osseux orbitaire externe bilatéral. Ils différaient seulement par le design de leurs extrémités (incurvées ou droites) et par le système de miroir (exophtalmomètres à deux miroirs ou à un miroir ou prisme). Les mesures ont été faites à 3 reprises par chaque observateur.

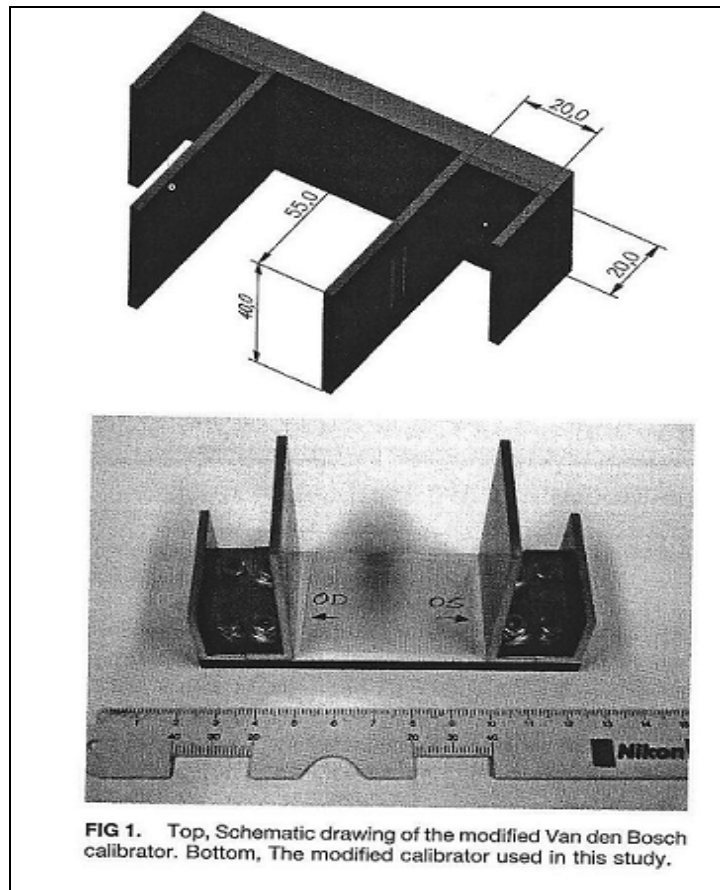


Fig.7 : Illustration extraite de l'article de Vardizer, OPRS 2005, montrant le calibre utilisé pour comparer les différents exophtalmomètres testés (19)

Leur conclusion a été la suivante : **les erreurs de parallaxe sont diminuées grâce aux plus récents exophtalmomètres à un miroir**. En effet, ceux-ci possèdent une ligne tracée sur le côté du miroir, au milieu de la règle graduée, qui permet vraisemblablement de remédier aux erreurs de parallaxe, notamment lors des mouvements de tête de l'observateur. Ils sont plus particulièrement exacts pour des valeurs de protrusion des globes de 20 mm environ, mais moins pour des valeurs d'énophtalmie (19). Cela pourrait être amélioré si un fabricant créait une règle non linéaire pour compenser l'angle créé par la nécessité d'ajuster le pointeur et le milieu de la règle graduée lors de chaque exophtalmométrie.

Cependant, les auteurs ne souhaitent pas recommander spécifiquement l'un de ces exophtalmomètres à un miroir car cette étude n'est pas clinique. En effet, en pratique clinique, d'autres facteurs peuvent influencer l'exactitude des mesures, comme l'épaisseur des

extrémités devant se placer contre les rebords orbitaires externes, et ainsi modifier la pression exercée sur eux par l'observateur, et par conséquent, influencer les mesures (19).

I-10) Meilleure fiabilité pour certaines valeurs ?

D'autre part, **WT Frueh et BR Frueh** ont réalisé en 2007 une étude afin de proposer des recommandations pour minimiser les erreurs lors d'exophtalmométries à l'aide d'exophtalmomètres à un miroir ou prisme, en se basant sur **l'analyse mathématique** de la géométrie de ce type d'exophtalmomètres (4).

Ils ont montré mathématiquement que l'exophtalmomètre à un miroir est exact dans ses mesures lorsque la protrusion oculaire est de l'ordre de **18 mm**, car c'est uniquement pour cette valeur que les erreurs de parallaxe sont annulées (« **no-parallax-alignment position** »), selon la conception géométrique de l'instrument et les instructions de lecture du fabricant (en pratique : aligner la ligne rouge face à l'examineur et celle reflétée de l'échelle graduée sur le côté).

Vardizer reconnaissait dans le précédent article que les exophtalmomètres étaient, en effet, moins exacts lorsqu'il existe une exo- ou une énoptalmie, mais sans en avoir identifié les raisons (19).

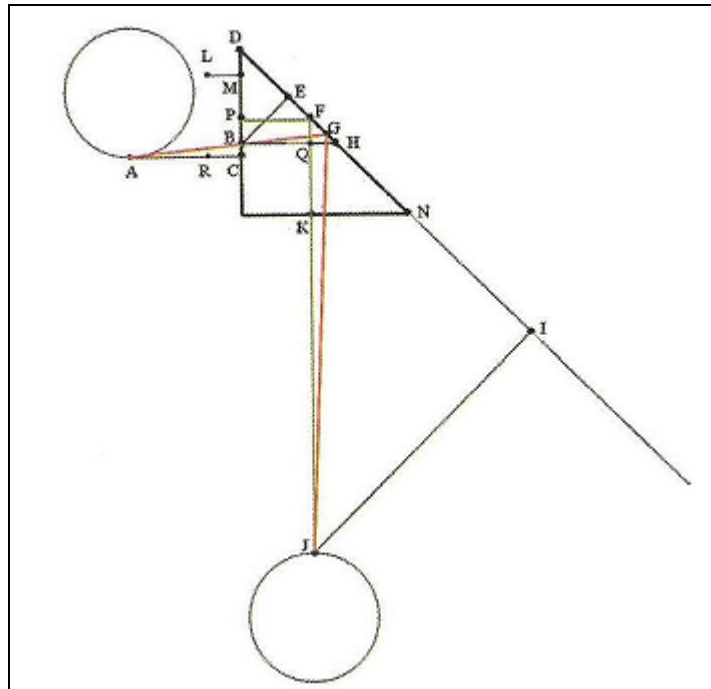


Fig.8 : Illustration extraite de l'article de Frueh et Frueh, OPRS 2007 (4) : schéma représentant l'utilisation d'un exophthalmomètre à un miroir ou prisme

Les auteurs ont ici identifié trois variables qui contribuent aux erreurs de mesure :

- La distance entre le centre de la cornée et le côté de l'instrument est fonction de la position anatomique du rebord orbitaire du patient. Il est habituel de relever la mesure de la distance bicanthale externe, afin de la réutiliser lors de mesures ultérieures, mais cela n'élimine pas complètement la source d'erreur. La distance entre le centre de la cornée et le rebord orbitaire externe varie de 20 à 26 mm, pour l'exophthalmomètre testé dans l'étude. L'erreur augmente proportionnellement quand la distance du centre de la cornée à la surface de l'instrument augmente. **Il faut donc choisir la plus petite distance bicanthale externe possible.**

- Il n'est pas habituel de mesurer la distance entre l'œil de l'observateur et la surface antérieure de l'instrument, pas plus que d'essayer de la répéter lors de mesures itératives, cependant cette distance affecte la lecture de l'exophthalmométrie, sauf pour la « no-parallax-alignment position ». L'erreur augmente de 20% quand la distance entre l'œil de l'examineur et la surface de l'instrument diminue de 45 à 30 cm. L'erreur de lecture est inversement proportionnelle à cette distance. **Cela nécessite que l'examineur se tienne à bonne distance de l'appareil, autant que possible pour diminuer cette source d'erreur.**

- **L'erreur de lecture augmente de manière directement proportionnelle quand la mesure d'exophtalmométrie s'éloigne de la « no-parallax-alignment position » (protrusion de 18 mm)**, ce qui constitue la principale source d'erreur lors de ce type de mesures.

Mais, contrairement aux deux autres sources d'erreur, l'observateur ne peut pas la minimiser. En effet, elle découle d'une résultante inhérente au design de l'instrument.

Or, les exophtalmomètres sont utilisés généralement dans le cadre de diagnostic ou de suivi d'une exophtalmie ou énoptalmie, alors qu'ils ne permettent pas d'éviter les erreurs de parallaxe pour ces valeurs-là.

Voici donc la problématique qui s'offre à nous:

- les exophtalmomètres à un miroir semblent plus performants et fiables que ceux à deux miroirs
- les exophtalmomètres à un miroir semblent plus exacts pour une mesure de protrusion cornéenne de 18 mm, valeur pour laquelle l'erreur de parallaxe est vraisemblablement annulée.

Nous allons nous proposer, dans cette étude, de vérifier cela par l'expérience, en comparant l'exophtalmie mesurée avec un appareil à un et à deux miroirs, à l'exophtalmie mesurée par biométrie tomодensitométrique.

I-11) Biométrie tomодensitométrique : définition, méthode de réalisation :

La notion de **biométrie tomодensitométrique par l'étude du plan neuro-orbitaire (PNO)** au scanner RX, de préférence selon un mode hélicoïdal, a été développée par **Cabanis**, en se basant sur les principes suivants (31, 32, 33, 34) :

- il existe une fixité d'un plan d'orientation crânio-céphalique horizontal des voies visuelles chez l'homme (et les mammifères) : le plan neuro-orbitaire (PNO)

- la fixité de la biométrie axiale oculo-orbitaire, normale et pathologique, permet de définir les 3 grades d'exophtalmie et de confirmer l'énophtalmie
- la biométrie oculo-orbitaire numérisée n'est ni « opérateur dépendante et segmentaire » comme l'échographie, ni « infiltration des parties molles dépendante » comme l'exophtalmométrie à l'appareil de Hertel.

Cependant, en imagerie numérique, des conditions techniques s'imposent (34):

- l'immobilité des globes oculaires, explorés en position de repos, indifférente ou primaire du regard : fermeture des yeux ou accommodation à l'infini en fixant un point. En effet, le déplacement des globes oculaires entraîne celui de la tête des nerfs optiques et la contraction des muscles oculo-moteurs extrinsèques. Ainsi la tête du patient doit être positionnée dans la têtère de manière à ce que le plan d'acquisition soit parallèle au PNO
- l'adaptation de la référence axiale du plan de coupe ou plan des voies visuelles, ou PNO
- enfin, le traitement biométrique des données acquises, avec mesures des dimensions du globe oculaire, de la topométrie oculo-orbitaire et de l'exophtalmométrie axiale, est réalisé. Les coupes sont fines (0,6 à 1,5 mm), chevauchées, et le volume obtenu est reconstruit dans les plans axial, coronal et sagittal oblique dans l'axe du nerf optique.

Le PNO est défini par le plan de coupe horizontal de la tête, d'épaisseur de 1 à 5 mm, qui, en position « indifférente » du regard, comporte symétriquement disposés, d'avant en arrière :

- les 2 cristallins selon leur grand axe,
- les 2 têtes des nerfs optiques,
- et les 2 canaux optiques (31, 32, 34).

Les structures contenues dans les PNO sont :

- au niveau des orbites : les cristallins et globes oculaires, l'insertion des muscles droits latéraux, la tête des nerfs optiques, parois orbitaires externes, avec le pilier externe et le muscle temporal, les parois orbitaires internes, avec l'ethmoïde et les os propres du nez, et les canaux optiques

- au niveau de la région incisurale : les processus clinoides et les gouttières optiques, les citernes supra-sellaires et les carotides internes, le dorsum sellae, la citerne ponto-pédonculaire, le tronc basilaire et l'artère cérébrale postérieure, le mésencéphale avec l'aqueduc de Sylvius, le culmen et l'angle falco-tentorial

- au niveau des hémisphères cérébraux : les pôles et cortex temporaux, les pôles occipitaux et les scissures calcarines.

On définit :

- **l'indice oculo-orbitaire (IOO)** qui correspond au rapport du segment pré-bicanthal externe (segment perpendiculaire au plan bicanthal externe jusqu'à la ligne tangente au bord antérieur de la cornée) sur la longueur axiale maximale du globe. Sa valeur normale moyenne chez l'adulte émétrope est d'environ 70%

- **les 3 grades d'exophtalmie axiale :**

* Absence d'exophtalmie : $IOO < 66,6\%$

* grade 1 : $66,6\% < IOO < 100\%$

* grade 2 : $IOO = 100\%$ (tangence du pôle postérieur)

* grade 3 : $IOO > 100\%$ (exorbitisme)

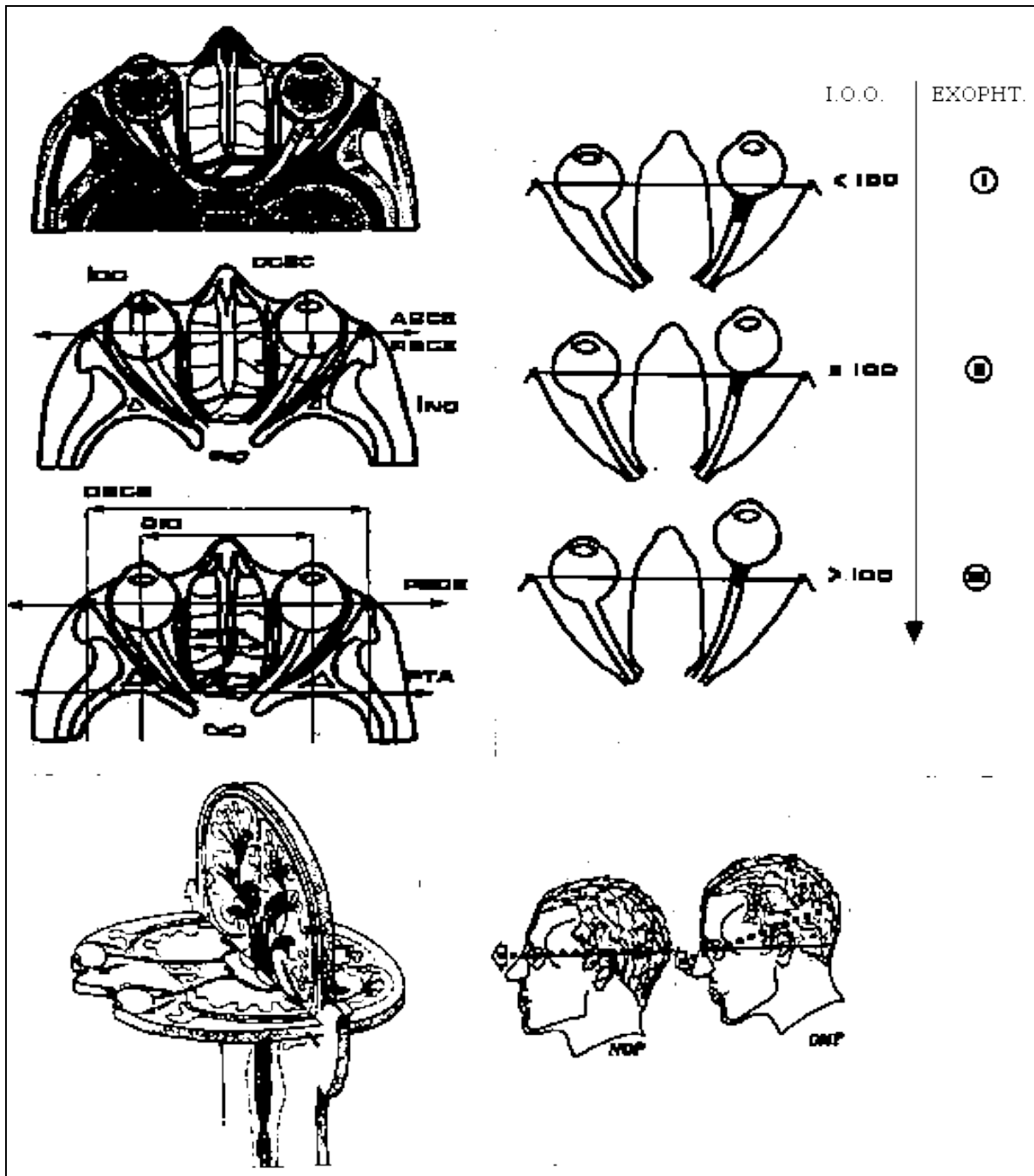


Fig.9 : Référentiel céphalique du PNO. En haut, à gauche : définition axiale du PNO en scanner Rx et mesures biométriques (1 : cristallin, 2 : tête du nerf optique, 3 : canal optique, 4 : hyperdensité choroïdo-sclérale, 5 : canthus interne et muscle droit interne, 6 : muscle temporal, 7 : canthus externe et pilier orbitaire externe, 8 : pôle temporal, 9 : clinoides antérieures et postérieures (dorsum) ; PBCE et DBCE = Plan et Distance Bi-Canthaux Externes. En haut, à droite : topométrie oculo-orbitaire du PNO, exophtalmométrie et les 3

grades d'exophtalmie. En bas, à gauche : le schéma (HUK) matérialise l'orthogonalité du PNO sur le faisceau cortico-spinal. En bas, à droite : angulation du PNO (NOP), matérialisée sur une tête de profil, avec le plan OM (OMP) (34)



Fig.10 : Coupe tomodensitométrie passant par le plan neuro-oculaire (PNO) réalisée dans notre étude

En pratique, l'examen scanographique orbitaire, à la recherche d'une exophtalmie notamment, ne nécessite aucune préparation particulière et ne nécessite pas d'injection de produit de contraste dans la majorité des cas (orbitopathie dysthyroïdienne, dysmorphie crânio-faciale par exemple) (35, 36).

Si après l'acquisition sans injection, il s'agit d'une autre pathologie que d'une orbitopathie dysthyoïdienne (processus expansif, inflammatoire ou infectieux, par exemple), l'examen pourra être complété par une série après injection IV de 1,5 à 2 mL/kg de produit de contraste iodé dosé à 270-350 mg d'iode/mL.

Le début d'acquisition est tardif (sauf si suspicion de lésion vasculaire à haut flux), soit environ 1 minute après la fin de l'injection, afin d'obtenir à la fois une imprégnation tissulaire et une opacification vasculaire de bonne qualité.

Le patient est positionné en décubitus dorsal, la tête bien calée.

Le topogramme est réalisé de profil et le positionnement du volume d'acquisition se fait entre les sinus frontaux et la partie inférieure des sinus maxillaires.

L'acquisition hélicoïdale se fait en respiration douce, avec un champ de vue de 15 à 20 cm, et une épaisseur de reconstruction de 1 mm environ, en veillant à la dosimétrie.

L'immobilité est impérative, comme nous l'avons décrit précédemment : pour cela, il faut demander au patient soit de fermer les yeux en conservant le regard immobile, soit de fixer un point précis.

Les reconstructions sont réalisées en filtre tissulaire et en filtre osseux, en coupes de 1 à 1,5 mm d'épaisseur, tous les 3 à 4 mm : en particulier axiales dans le plan du PNO, mais aussi coronales et sagittales obliques dans l'axe du nerf optique.

A titre indicatif, voici un protocole utilisable pour un scanner orbitaire : pitch de 1, coupes de 1,3 mm d'épaisseur tous les 0,6 mm, 120kv, 250 mas, filtre C, matrice 512 carrée, pour une DLP estimée à 750 mGy.cm.

D'autre part, Gibson a décrit en 1984 un plan comparable au PNO de Cabanis qui sert de référence dans de nombreuses études anglo-saxonnes (37).

II) MATERIELS ET METHODES :

II-1) Etude préliminaire :

Il s'agissait d'une étude prospective, où 43 patients adultes ont été inclus entre février et juillet 2009 au CHU de Limoges, dont 18 hommes et 25 femmes, de 19 à 89 ans (âge moyen : 55,3 ans), réalisée dans le cadre d'un mémoire de Diplôme Inter-Universitaire de pathologie et chirurgie orbito-lacrymo-palpébrales.

Les patients inclus avaient bénéficié d'un scanner cérébral (31 patients), des sinus (10 patients) ou orbitaire (2 patients), pour raison médicale, généralement non ophtalmologique, sauf pour les deux patients ayant eu un scanner orbitaire (une orbitopathie dysthyroïdienne bilatérale et un processus expansif intra-conique gauche).

Les seuls critères d'exclusion étaient :

- l'âge : seuls des patients d'âge supérieur à 18 ans ont été inclus
- l'impossibilité de coopération à l'examen
- la présence de lésion du cadre orbitaire osseux.

Les différentes **mesures d'exophtalmométrie**, avec les 2 instruments décrits ci-après, avaient été réalisées le **même jour que le scanner** par **un seul opérateur**, en respectant les recommandations de mesures décrites dans la littérature, à savoir un positionnement horizontal de l'appareil, l'application d'une pression suffisante sur les rebords orbitaires. Le patient regardait droit devant lui lors de la mesure. Celle-ci était réalisée en alignant le cône de référence avec la ligne tracée sur le miroir, puis la position de l'apex cornéen était lue sur l'échelle graduée, pour l'œil droit puis pour l'œil gauche.

Les diverses mesures réalisées avaient été successivement avec les 2 exophtalmomètres, par le même observateur :

- la distance bicanthale externe (**DBCE**)
- les protrusions cornéennes droites et gauches correspondant au segment pré-bicanthal externe (**SPBCE**) de chaque œil.

Les appareils utilisés étaient :

- un exophtalmomètre dit de Mourits à un miroir, conçu afin de minimiser les erreurs de parallaxe, de marque MEDICAL WORKSHOP®
- un exophtalmomètre plastique de type Hertel de marque OCULUS® à 2 miroirs, à extrémités incurvées

La **biométrie tomodensitométrique** a été réalisée pour tous les patients par **un seul opérateur**, également. Elle constitue la mesure de référence pour notre étude comparative.

Les 2 types de scanners utilisés étaient :

- Light Speed VCT, General Electric®, 64 barrettes (pour 27 patients)
- Light Speed, General Electric®, 8 barrettes (pour 16 patients).

L'interprétation du scanner était réalisée chaque fois par le même opérateur, avec une coupe par le plan neuro-orbitaire strict (avec l'alignement du cristallin selon son plus grand axe, avec la tête du nerf optique et le canal optique), après avoir déterminé le plan bicanthal externe (PBCE), pour réaliser les mesures suivantes :

- la distance bicanthale externe (**DBCE**)
- le segment pré-bicanthal externe (**SPBCE**) : segment perpendiculaire au PBCE jusqu'à la ligne tangente au bord antérieur de la cornée
- le segment rétro-bicanthal externe (**SRBCE**) : mesure complémentaire de la précédente jusqu'au pôle postérieur du globe
- la longueur axiale maximale du globe

ainsi que les calculs suivants :

- calcul de l'indice oculo-orbitaire (**IOO**) ou indice d'exophtalmie : rapport du SPBCE sur la longueur axiale maximale du globe
- **grade d'exophtalmie** : absence d'exophtalmie (0), grade 1, grade 2 ou grade 3, comme définis précédemment.

L'objectif principal de cette étude est de rechercher lequel de ces 2 exophtalmomètres permet d'obtenir la meilleure corrélation avec les biométries tomodensitométriques objectives, notamment pour la mesure du segment pré-bicanthal externe.

Un objectif secondaire est, éventuellement, de déterminer si l'un des 2 appareils semble plus exact pour certaines valeurs d'exophtalmométrie.

En ce qui concerne l'analyse statistique, nous avons pratiqué des **tests T de Student** appariés.

En effet, la taille de l'échantillon est $N > 30$, donc on considère que la distribution normale s'applique (courbe de Gauss), ce qui permet d'effectuer le test T de Student bilatéral.

Pour l'interprétation des résultats, on admettra ici que l'hypothèse nulle H_0 est vraie, pour un risque $\alpha = 5\%$.

Ici, on tend à montrer que les 2 échantillons appartiennent à la même population donc que H_0 est vraie (donc $p > 0,05$).

Les résultats :

Tout d'abord, l'**analyse descriptive** montrait que :

- notre population comporte 43 patients (18 hommes, 25 femmes), soit 86 yeux
- la moyenne d'âge est de 55,3 ans (19 - 89 ans)
- l'indice oculo-orbitaire moyen est de 66,7% (46% - 100%), avec IOO moyen des yeux droits de 67,3% et IOO moyen des yeux gauches de 66,1%
- la répartition des grades d'exophtalmie dans notre population est de 49 yeux de grade 0 (57%), 35 yeux de grade 1 (40,7%), et 2 yeux de grade 2 (2,3%).

L'**interprétation des tests T** de Student avait permis de montrer les éléments suivants :

1°) Concernant l'objectif principal de l'étude, c'est-à-dire la recherche de corrélation entre mesures d'exophtalmométrie pour le segment pré-bicanthal externe (**SPBCE**) réalisées avec les 2 appareils, et biométrie tomodynamométrique :

- Entre le 1^{er} appareil et biométrie tomodynamométrique : on ne peut pas rejeter H_0 , on considère qu'elle est vraie, avec $p = 0,34$ pour la série des yeux droits, $p = 0,28$ pour la série yeux gauches ($> 0,05$).

Pour augmenter la puissance du test, nous avons réalisé un test T sur l'ensemble des 86 yeux comparés aux 86 mesures tomodynamométriques et nous obtenons une différence significative avec $p = 0,145$ ($> 0,05$), pour les 86 yeux.

Il semble donc exister une corrélation significative entre exophtalmométrie avec l'appareil n°1 et biométrie tomodynamométrique.

On notera cependant que le test T réalisé ici n'est pas bijectif, on dit donc qu'on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle, mais on ne peut pas affirmer qu'elle est vraie, de par la nature du test.

- En revanche, en ce qui concerne les mesures réalisées avec le 2^e appareil comparées à la biométrie tomодensitométrique, on rejette de façon très significative H_0 , avec $p = 0,009$ pour la série des yeux droits et $p = 4,6.10^{-5}$ pour la série des yeux gauches ($< 0,05$). Les fluctuations sont donc dues aux fluctuations d'échantillonnage.

Cela signifie, pour la série OD, qu'il existe 1% de chance de se tromper dans l'interprétation de H_0 , et donc ici, il y a donc 1% de chance pour que la mesure d'exophtalmométrie avec le 2^e appareil soit juste.

Il n'existe donc aucune corrélation entre exophtalmométrie avec le 2^e appareil et biométrie tomодensitométrique, de façon significative.

Ci-dessous, le tableau récapitulatif des données de l'analyse statistique pour le critère de jugement principal :

	SPBCE OD Exo 1	SPBCE OG Exo 1	SPBCE OD Exo 2	SPBCE OG Exo 2	SPBCE OD TDM	SPBCE OG TDM
Moyenne	15,97	15,42	16,84	16,84	16,09	15,76
Variance	9,45	11,25	3,62	4,33	8,60	8,20
Ecart type	3,07	3,35	1,90	2,08	2,89	2,86
Test T Student Exo vs TDM	0,34	0,28	0,0098	4,6.10 ⁻⁵		

- Nous avons ensuite réalisé un test T entre les mesures d'exophtalmométrie réalisées avec l'appareil n°1 et l'appareil n°2 : il existe une différence significative $p = 6,02.10^{-5}$ ($< 0,05$).

Donc les 2 exophtalmomètres ne font pas les mêmes mesures, de façon significative : cela renforce la conclusion qu'un exophtalmomètre est dans l'erreur.

2°) Nous avons recherché l'existence d'une corrélation entre les mesures de distance bicanthale externe (**DBCE**) entre chacun des 2 exophtalmomètres et biométrie tomodensitométrique :

- Il n'existe **pas de corrélation** dans les mesures de DBCE entre les 2 appareils et le scanner, de façon significative ($p < 0,05$) pour chaque instrument.

3°) Un critère secondaire de l'étude était de déterminer si les mesures étaient plus ou moins exactes en fonction de la longueur du SPBCE, notamment d'évaluer si celles-ci sont plus exactes autour des 18 mm, comme cela avait été démontré mathématiquement par Frueh et Frueh (6).

Un test T de Student à 1 degré de liberté a donc été réalisé pour déterminer si l'exophtalmométrie est plus exacte pour la valeur de SPBCE de 18 mm :

- On retrouve en effet pour ce test un $p = 0,63$ ($> 0,05$), donc on pourrait conclure que l'exophtalmométrie est plus juste pour cette valeur de SPBCE de 18 mm. Cependant, ce test est peu puissant (seulement 2 valeurs de 18 mm sont retrouvées dans notre population).

Après discussion, la conclusion de notre étude était la suivante :

La problématique de fiabilité et reproductibilité des mesures d'exophtalmométrie réalisées avec de divers types d'appareils, a largement été débattue dans la littérature.

Cette étude permet de répondre significativement à deux questions.

Tout d'abord, elle montre de manière significative l'absence de corrélation entre l'exophtalmométrie avec un appareil à 2 miroirs et les mesures scannographiques objectives.

En revanche, les mesures réalisées avec l'appareil à 1 miroir semblent corrélées aux biométries tomodensitométriques, ce qui confirme, de manière objective et statistiquement significative, des données précédemment formulées.

Néanmoins, des échantillons plus larges de population sont nécessaires pour augmenter la puissance des tests statistiques.

Devant les résultats encourageants de cette étude préliminaire, nous avons décidé de mener une nouvelle étude, mieux conduite, sur le sujet.

II-2) Calcul du nombre de sujets nécessaires :

Le calcul du nombre de sujets nécessaires a été **réalisé de manière préalable** au début de l'étude proprement dite par le Centre d'Epidémiologie, de Biostatistique et de Méthodologie de la Recherche (**CEBIMER**) du Centre Hospitalier de Limoges.

Il a été calculé dans les conditions suivantes :

- coefficient de corrélation intraclasse (correspondant à un coefficient de corrélation dans une situation de concordance et s'interpréter de la même façon) attendu à 0,80
- précision de 0,10
- risque alpha à 5%
- situation bilatérale
- 2 mesures (que ce soit pour intra- ou inter-observateurs).

Il faut donc au minimum 51 sujets évaluable.

Le calcul a été réalisé avec Nquery Advisor 7.0 (Statistical Solutions, Saugus, MA, USA).

Dans l'idéal, pour une meilleure significativité des résultats, 10% de sujets supplémentaires sont nécessaires, soit 56 patients.

II-3) Type d'étude réalisée :

Nous avons réalisé une étude prospective, de concordance, réalisée au Centre Hospitalier de Brive, de mai à août 2010, incluant **60 patients, soit 120 yeux** (calcul du nombre de sujets nécessaires estimé au préalable à 51 patients) :

- 35 femmes (58,3%)
- 25 hommes (41,7%)
- Agés de 20 à 93 ans (âge moyen : 58,85 ans, écart-type : 19,37, médiane : 60,50).

II-4) Définition de la population étudiée :

L'ensemble des patients ont bénéficié d'un scanner :

- cérébral (39 patients),
- des sinus (15 patients),
- orbitaire (4 patients) ou
- des troncs supra-aortiques (2 patients),

pour raison médicale, généralement non ophtalmologique, sauf pour les 4 patients ayant bénéficié d'un scanner orbitaire.

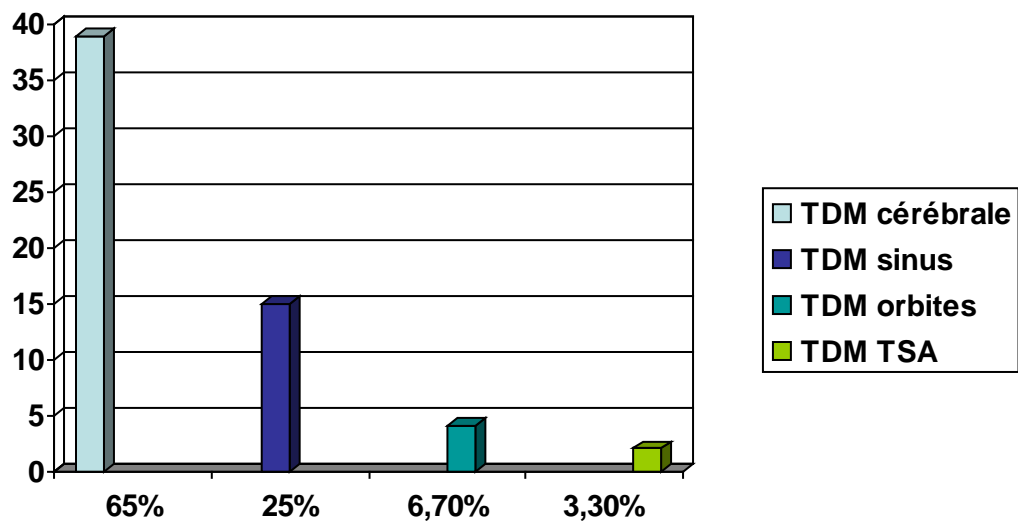


Fig.11 : Différents types de scanners réalisés dans la population recrutée

Les critères d'exclusion étaient :

- l'âge : seuls des patients d'âge supérieur à 18 ans ont été inclus
- l'impossibilité de coopération à l'examen
- la présence de lésions du cadre orbitaire, notamment traumatiques

II-5) Observateurs et instruments étudiés :

Deux observateurs différents, le premier «plus expérimenté », interne en ophtalmologie, le second « moins expérimenté », interne en radiologie, ont réalisé les mesures d'exophtalmométrie :

- successivement,
- sur chaque patient,
- avec les 3 instruments décrits ci-après,
- lors de **deux séries de mesures**, avant et après la réalisation du scanner,
- sans avoir connaissance des mesures réalisées précédemment par l'un ou l'autre des observateurs.

Les mesures effectuées à chaque reprise, par chaque observateur, étaient les suivantes :

- **SPBCE** : Segment Pré-Bicanthal Externe, droit et gauche, correspondant aux protrusions cornéennes : mesures réalisées avec les 3 appareils étudiés
- **DBCE** : Distance Bi-Canthale Externe : mesure réalisée avec l'exophtalmomètre de Hertel et de Mourits.

Au total, nous obtenions 12 mesures de SPBCE par œil et 8 mesures de DBCE par patient.

Des **fiches pré-remplies** étaient complétées par chaque observateur lors de chaque série de mesure, relevant les données concernant le patient, les mesures millimétriques des SPBCE droit et gauche, ainsi que la mesure millimétrique de DBCE pour les appareils de Hertel et Mourits (ANNEXES 4, 5, 6, 7).

Les 3 exophtalmomètres étudiés ici sont les suivants :

- Un appareil ou « baguette » de LUEDDE :

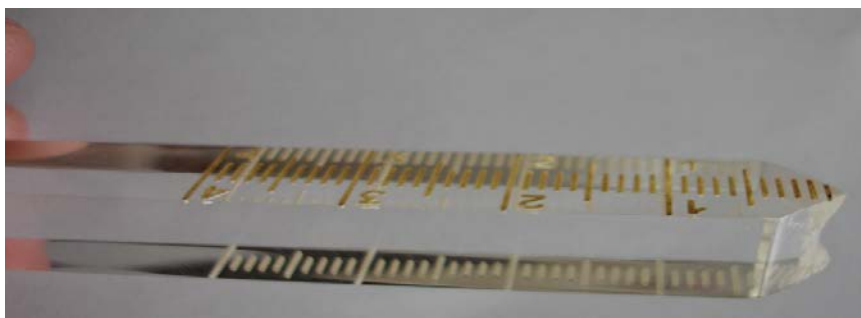
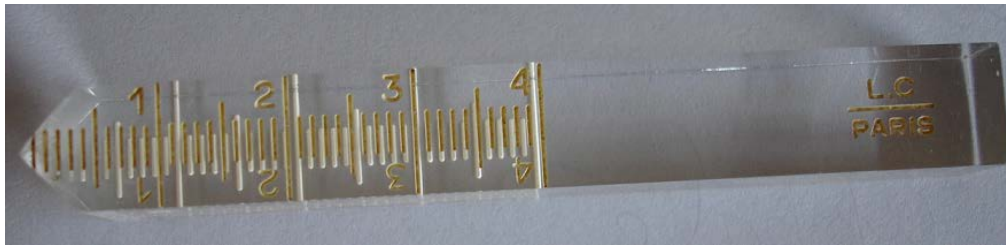


Fig.12 : Exophtalmomètre N°1 (LUEDDE)

- Un exophtalmomètre de type HERTEL, à 2 miroirs, à extrémités incurvées, de marque OCULUS® :



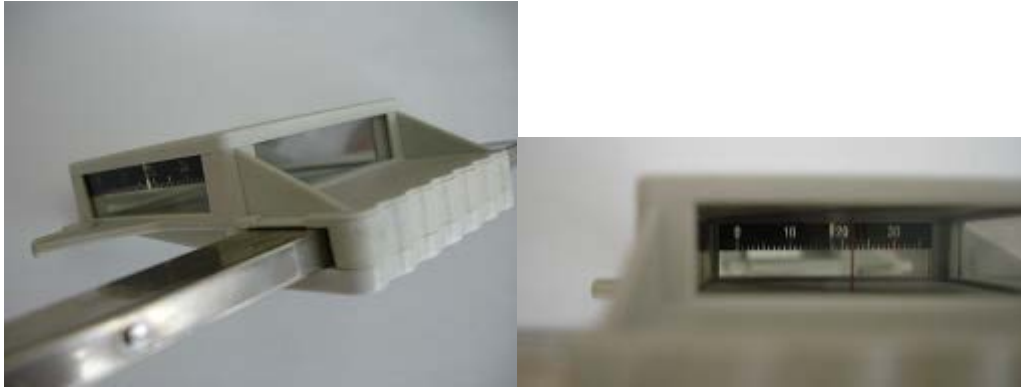


Fig.13 : Exophthalmomètre N° 2 (HERTEL)

- Un exophthalmomètre dit de MOURITS, à 1 prisme, conçu afin de minimiser les erreurs de parallaxe, de marque MEDICAL WORKSHOP® :



Fig.14 : Exophthalmomètre N°3 (MOURITS)

II-6) Techniques de mesures :

II-6-a) Appareil de Luedde :

Les mesures réalisées avec cet instrument ont été pratiquées selon les recommandations faites par Luedde (26).

L'extrémité incurvée de la baguette était appliquée contre le rebord orbitaire latéral, l'observateur se tenant au même niveau que le patient, ce dernier regardant droit devant fixement. La position de l'apex cornéen, vue par transparence à travers la réglette, est alors lue sur les graduations millimétriques. Pour limiter le risque d'erreur, la position de la cornée est lue après avoir fait coïncider les 2 échelles graduées gravées de part et d'autre de la baguette.



Fig.15 : Exemple de mesure avec la baguette de LUEDDE

II-6-b) Exophtalmomètre de Hertel à 2 miroirs :

Les mesures d'exophtalmométrie avec l'appareil de Hertel ont été réalisées selon les recommandations d'O'Donnell (20).



Fig.16 : Exemple de mesure avec l'exophthalmomètre de HERTEL à 2 miroirs

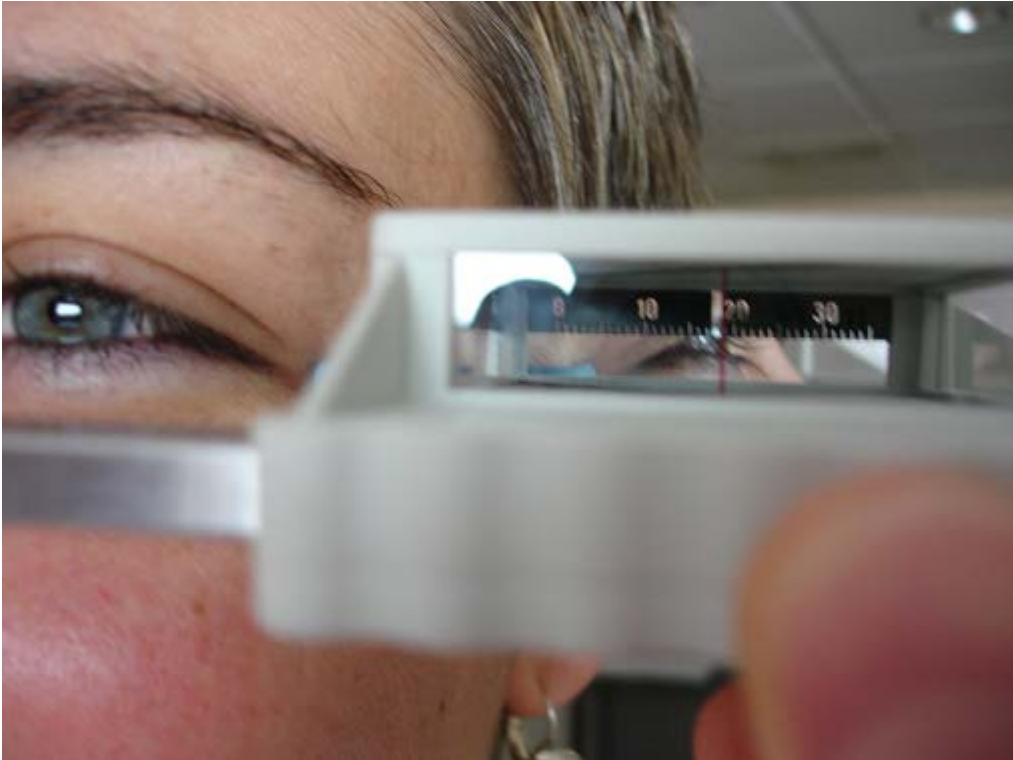


Fig.17 : Visualisation du reflet de l'apex cornéen et alignement de celui-ci avec le repère rouge et l'encoche de référence

II-6-c) Exophthalmomètre de Mourits à un prisme :



Fig.18 : Exemple de mesure avec l'exophthalmomètre de MOURITS à un prisme

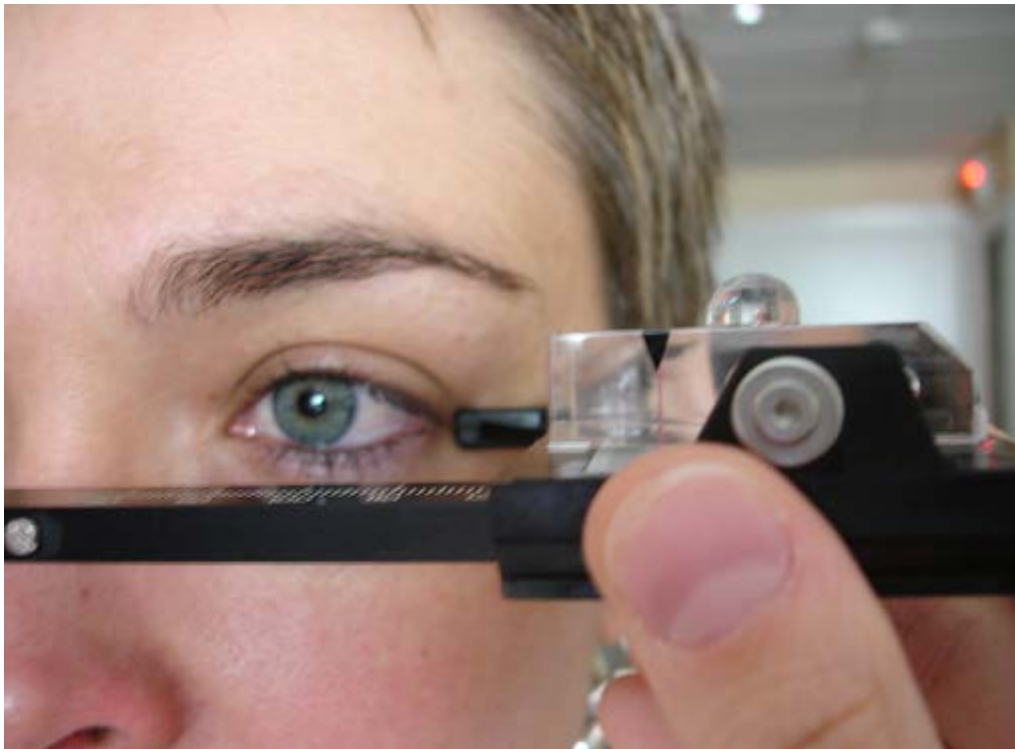


Fig.19 : Visualisation de l'apex cornéen qui doit être aligné avec le repère rouge et la flèche noire de référence

II-7) Biométries tomодensitométriques :

La biométrie tomодensitométrique a été réalisée pour tous les patients par un opérateur et validée par un opérateur « sénior ». Elle constitue la **mesure de référence pour notre étude comparative**.

Le type de scanner utilisé était :

- Light Speed VCT, General Electric®, 64 barrettes pour l'ensemble des 60 patients.

L'épaisseur de coupe était généralement de 0,6 mm tous les 0,6 mm.

Le champ de vue était de 230 à 250 mm environ pour l'ensemble des scanners réalisés.

Les examens étaient réalisés sans ou avec injection de produit de contraste iodé selon l'indication.

Les protocoles ont été choisis avec des paramètres permettant d'avoir la dose d'irradiation minimale par rapport au problème clinique diagnostique posé :

- pour les scanners cérébraux : DLP de 800 à 1050 mGy.cm
- pour les scanners des sinus et orbitaires : DLP de 400 à 600 mGy.cm.

La tête des patients était positionnée dans la têtère de façon à obtenir un plan d'acquisition parallèle au PNO, et ils étaient invités à regarder un repère (croix) placé devant eux sur l'appareil, lors de l'examen tomodensitométrique, afin d'obtenir précisément le plan neuro-orbitaire strict sur les coupes réalisées.

L'interprétation du scanner était réalisée chaque fois par le même opérateur, avec une coupe par le plan neuro-orbitaire strict (avec l'alignement du cristallin selon son plus grand axe, avec la tête du nerf optique et le canal optique), après avoir déterminé le plan bicanthal externe, pour réaliser les mesures suivantes :

- la distance bicanthale externe (**DBCE**)
- le segment pré-bicanthal externe (**SPBCE**) : segment perpendiculaire à la DBCE jusqu'à la ligne tangente au bord antérieur de la cornée
- la longueur axiale maximale du globe

Ainsi que les calculs suivants :

- calcul de l'indice oculo-orbitaire (**IOO**) ou indice d'exophtalmie : rapport du SPBCE sur la longueur axiale maximale du globe
- **grade d'exophtalmie** : absence d'exophtalmie (0), grade 1, grade 2 ou grade 3, comme définis précédemment.



Fig.20 : Obtention du PNO avec le logiciel en positionnant le repère orthonormé sur le canal optique en sagittal oblique puis réalisation des biométries dans le plan axial du PNO

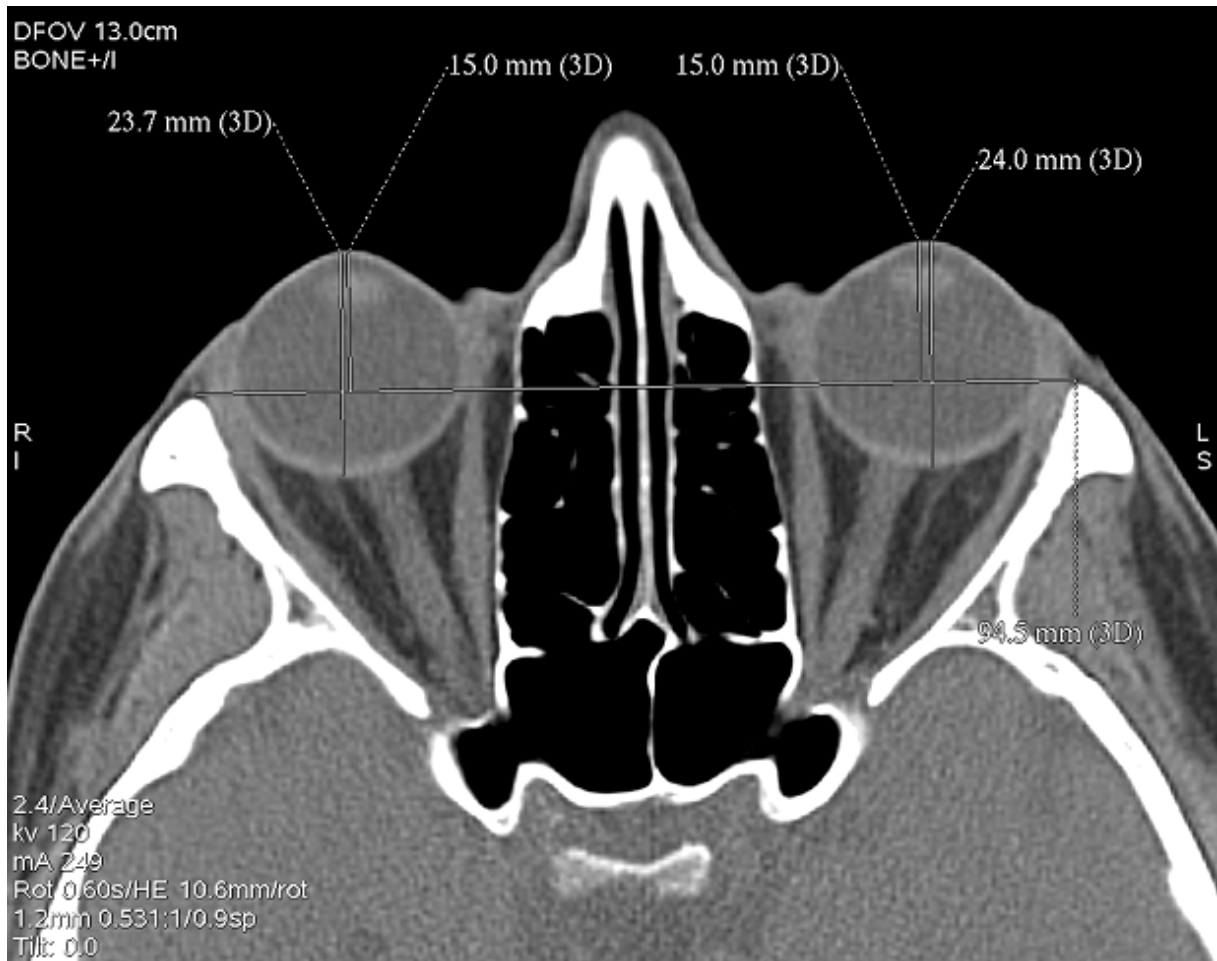


Fig.21 : Exemple de biométrie tomodensitométrique

D'autres exemples de biométries tomodensitométriques sont fournis en ANNEXES 8, 9 et 10, concernant les scanners orbitaires réalisés dans l'étude.

II-8) Objectif principal et critère de jugement principal :

L'objectif principal de notre étude est la recherche de corrélation entre les différents exophtalmomètres étudiés et la biométrie tomodensitométrique pour la mesure de protrusion oculaire, afin de déterminer lequel de ces appareils est le plus exact.

Le critère de jugement principal de l'étude est donc la mesure du segment pré-bicanthal externe (SPBCE) avec les trois exophtalmomètres et par biométrie tomodensitométrique.

II-9) Objectifs secondaires :

- recherche de corrélation intra-observateur pour chaque instrument
- recherche de corrélation inter-observateurs pour chaque appareil
- recherche de corrélation entre mesures de la distance bicanthale externe avec les exophtalmomètres et biométries tomодensitométriques
- détermination d'une éventuelle plus grande exactitude des mesures pour une protrusion cornéenne de 18 mm

II-10) Méthodes d'analyse statistique :

Les analyses statistiques ont été réalisées en collaboration avec le **Centre d'Epidémiologie, de Biostatistique et de Méthodologie de la Recherche** (CEBIMER) du Centre Hospitalier Universitaire de Limoges.

Dans un premier temps, une **analyse descriptive** des données a été réalisée, avec analyse :

- des **données quantitatives** : moyenne +/- écart-type, minimum, maximum, médiane, ainsi que les premier et troisième quartiles, accompagnés d'un histogramme de fréquence.
- des **données qualitatives** : exprimées en fréquence et pourcentages.

Ces données ont été analysées avec le logiciel SAS (SAS Institute, Cary, USA).

Dans un second temps, l'**analyse statistique principale** a porté sur la concordance entre les mesures du segment pré bicanthal externe (SPBCE) pour l'œil droit et l'œil gauche, faites avec trois instruments différents (la baguette de Luedde, l'exophtalmomètre de Hertel et l'exophtalmomètre de Mourits) et les biométries tomодensitométriques, considérées comme étant les valeurs de référence.

La **concordance** a été estimée par :

- le calcul du **coefficient de corrélation intraclass**
- ainsi qu'avec le **graphique de Bland et Altman**.

Les calculs ont été faits par le logiciel MedCalc.

Les résultats des coefficients de corrélation intraclasse sont présentés sous forme de tableaux, et calculés avec un intervalle de confiance de 95%.

Pour chaque recherche de concordance, 2 coefficients de corrélation sont calculés :

- le 1^{er} coefficient est interprété lorsque l'on compare deux mesures brutes (« single mesures »)
- le second coefficient est interprété lorsque l'on compare des moyennes de mesures (« average mesures »).

La méthode de Bland et Altman, associé au coefficient de corrélation intraclasse, donne la moyenne des différences entre 2 mesures, exprimée sous forme de graphique.

Les **analyses statistiques secondaires** ont pour objectifs de calculer :

- la concordance entre les mesures de DBCE entre les 3 instruments utilisés et la biométrie tomodensitométrie. Comme pour l'objectif principal, la concordance a été calculée avec le coefficient de corrélation intraclasse ainsi qu'avec le graphique de Bland et Altman.
- la reproductibilité intra-observateur, pour chacun d'entre eux, et
- la reproductibilité inter-observateurs, évaluées également par le coefficient de corrélation intraclasse et le graphique de Bland et Altman.

Les mesures des trois instruments ont été faites deux fois par deux observateurs, nous disposons donc de quatre mesures pour une seule variable faite par un instrument.

Pour l'analyse principale d'une variable, deux concordances sont calculées :

- la concordance entre la biométrie tomodensitométrie et la première mesure de l'observateur O1 et
- la concordance entre la biométrie tomodensitométrie et la première mesure de l'observateur O2.

Pour le calcul de la reproductibilité intra-observateur d'une mesure, deux concordances ont été calculées :

- la concordance entre les 2 mesures de l'observateur O1 et

- la concordance entre les 2 mesures de l'observateur O2.

Pour le calcul de la reproductibilité inter-observateur d'une mesure, une concordance a été calculée :

- la concordance entre les deux premières mesures des observateurs O1 et O2.
- **Interprétation du coefficient de corrélation intraclasse :**

Le coefficient de corrélation intraclasse calculé est le coefficient intraclasse observé (sur un échantillon) estimateur du coefficient intraclasse théorique (sur la population). Ce coefficient varie entre -1 et 1 sachant qu'en fonction de sa valeur, on peut le classer conventionnellement dans des catégories :

Accord	Coefficient de corrélation intraclasse
Très bon	>0.91
Bon	0.90 - 0.71
Modéré	0.70 - 0.51
Médiocre	0.50 - 0.31
Très Mauvais ou nul	0.30 à < 0

Remarque : Un coefficient de corrélation intraclasse négatif est interprété comme une estimation reflétant un accord théorique nul (38).

- **Interprétation du graphique de Bland et Altman :**

Ce graphique évalue la concordance entre deux mesures d'une même grandeur.

Il permet de mettre en relation la différence entre les mesures en fonction de la moyenne des différences des mesures.

S'il n'y a pas de relation (par exemple linéaire) entre la différence et la moyenne, le « biais » peut être estimé par la moyenne des différences et l'écart type des différences.

A partir de ces deux entités, un intervalle de confiance peut être calculé.

Si le nombre de valeurs en dehors de cet intervalle de confiance est petit (inférieur ou égal à 5%) et si cet intervalle de confiance est suffisamment petit, la concordance est considérée comme correcte. Il nous permet également de détecter des valeurs aberrantes. Il s'agit des patients dont la différence est beaucoup plus importante que les autres (39, 40, 41).

III) RESULTATS :

III-1) Analyse descriptive des variables :

III-1-a) Description des variables qualitatives :

Comme nous l'avons vu, notre population étudiée comporte 60 patients : 35 femmes (58,33%), 25 hommes (41,67%).

Concernant les grades d'exophtalmie recensés, évalués par la biométrie tomomodensitométrique par le calcul de l'indice oculo-orbitaire (IOO), nous notons :

- yeux droits : 30 grades 0 (50%) et 30 grades 1 (50%)
- yeux gauches : 26 grades 0 (43,33%) et 34 grades 1 (56,67%).

L'indice oculo-orbitaire moyen est de 68%.

III-1-b) Description des variables quantitatives :

* Observateur n°1, pour la 1^{ère} série de mesures :

Variable	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum	N	Premier Quartile	Médiane	Troisième Quartile
O1_M1_LUEDDE_OD	14.42	2.12	10.00	21.00	60	13.00	14.00	15.00
O1_M1_LUEDDE_OG	14.32	1.74	10.00	20.00	60	13.00	14.00	15.00

O1_M1_HERTEL_SPBCE_OD	16.88	1.33	14.00	20.00	60	16.00	17.00	18.00
O1_M1_HERTEL_SPBCE_OG	16.78	1.29	14.00	20.00	60	16.00	17.00	18.00
O1_M1_HERTEL_DBCE	113.42	4.92	103.00	126.00	60	110.00	113.00	116.50
O1_M1MOURITS_SPBCE_OD	15.43	2.81	9.00	22.00	60	14.00	15.00	17.00
O1_M1_MOURITS_SPBCE_OG	15.42	2.62	9.00	22.00	60	14.00	15.00	16.50
O1_M1_MOURITS_DBCE	112.90	4.76	104.00	124.00	60	109.50	112.00	115.00

* Observateur n°1, pour la 2^{ème} série de mesures :

Variable	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum	N	Premier Quartile	Médiane	Troisième Quartile
O2_M1_LUEDDE_OG	13.87	2.53	8.00	20.00	60.00	12.00	14.00	15.00
O2_M1_HERTEL_SPBCE_OD	16.62	1.50	14.00	20.00	60.00	16.00	16.50	17.50
O2_M1_HERTEL_SPBCE_OG	16.73	1.53	14.00	21.00	60.00	16.00	17.00	17.50
O2_M1_HERTEL_DBCE	112.45	4.66	104.00	123.00	60.00	109.00	112.00	115.00
O2_M1_MOURITS_SPBCE_OD	15.78	3.22	10.00	24.00	60.00	14.00	15.00	18.00
O2_M1_MOURITS_SPBCE_OG	15.65	3.28	7.00	24.00	60.00	14.00	16.00	17.00
O2_M1_MOURITS_DBCE	113.12	4.85	106.00	125.00	60.00	109.00	113.00	116.00

Au total, les valeurs extrêmes de SPBCE notées par l'observateur n°1 avec les 3 appareils vont 7 mm à 24 mm.

* Observateur n°2, pour la 1^{ère} série de mesures :

Variable	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum	N	Premier Quartile	Médiane	Troisième Quartile
O2_M1_LUEDDE_OG	13.87	2.53	8.00	20.00	60.00	12.00	14.00	15.00
O2_M1_HERTEL_SPBCE_OD	16.61	1.50	14.00	20.00	60.00	16.00	16.50	17.50
O2_M1_HERTEL_SPBCE_OG	16.73	1.53	14.00	21.00	60.00	16.00	17.00	17.50

O2_M1_HERTEL_DBCE	112.45	4.66	104.00	123.00	60.00	109.00	112.00	115.00
O2_M1_MOURITS_SPBCE_OD	15.78	3.22	10.00	24.00	60.00	14.00	15.00	18.00
O2_M1_MOURITS_SPBCE_OG	15.65	3.28	7.00	24.00	60.00	14.00	16.00	17.00
O2_M1_MOURITS_DBCE	113.12	4.85	106.00	125.00	60.00	109.00	113.00	116.00

* Observateur n°2, pour la 2^e série de mesures :

Variable	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum	N	Premier Quartile	Médiane	Troisième Quartile
O2_M2_LUEDDE_OG	13.9	2.38	8.00	20.00	60.00	12.00	14.00	15.00
O2_M2_HERTEL_SPBCE_OD	16.5	1.57	12.00	19.00	60.00	15.50	16.00	17.00
O2_M2_HERTEL_SPBCE_OG	16.67	1.50	13.00	20.00	60.00	16.00	17.00	17.00
O2_M2_HERTEL_DBCE	112.18	4.48	104.00	123.00	60.00	109.00	112.50	115.00
O2_M2_MOURITS_SPBCE_OD	15.90	3.43	7.00	24.00	60.00	14.00	15.00	18.50
O2_M2_MOURITS_SPBCE_OG	15.92	3.13	7.00	24.00	60.00	14.00	16.00	17.50
O2_M2_MOURITS_DBCE	113.05	4.73	105.00	123.00	60.00	109.50	113.00	116.00

Au total, les valeurs extrêmes de SPBCE notées par l'observateurs n°2 avec les 3 appareils vont de 7 mm à 24 mm également.

* Variables de la biométrie tomodensitométrie :

Variable	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum	N	Lower Quartile	Médiane	Upper Quartile
TDM_SPBCE_OD	15.96	2.68	11.20	23.30	60.00	14.20	15.30	17.55
TDM_SPBCE_OG	15.93	2.61	10.40	22.20	60.00	14.40	15.50	17.40
TDM_DBCE	98.22	5.24	87.00	112.50	60.00	94.75	98.05	100.55
Lg_axiale_OD	23.70	1.67	19.40	27.80	60.00	22.55	23.40	24.80
Lg_axiale_OG	23.42	1.57	18.70	27.30	60.00	22.35	23.20	24.60
I00_OD	0.68	0.11	0.46	0.95	60.00	0.60	0.66	0.76
I00_OG	0.68	0.10	0.43	0.95	60.00	0.61	0.67	0.76

Au total, les valeurs extrêmes de protrusion oculaire mesurées scanographiquement vont de 10,40 mm à 23,30 mm.

Pour la distance bicanthale externe, les valeurs extrêmes sont de 87 à 112,50 mm.

III-2) Analyse statistique principale :

L'objectif principal de notre étude est la recherche de concordance entre les trois exophtalmomètres testés et la biométrie tomodensitométrie (TDM), afin de déterminer lequel permet les mesures de protrusion oculaire correspondant au segment pré-bicanthal externe (SPBCE) les plus exactes.

III-2-a) Concordance SPBCE – exophtalmomètre de LUEDDE / SPBCE – TDM :

*** OBSERVATEUR N°1 (O1) :**

Number of subjects (n)	60
Number of raters (k)	2
Model	The same raters for all subjects. Two-way model.
Type	Absolute agreement
Measurements	O1_Luedde_SPBCE O1_TDM_SPBCE

Pour chaque analyse faite avec le logiciel MedCalc, le calcul est fait pour un nombre de sujets de n=60 (soit 120 yeux), et pour 2 mesures différentes (2 séries de mesures pour chaque observateur avec chaque appareil) soit k=2.

Il indique également le modèle choisi : ici les mesures pour une même variable ont été faites par le même observateur. Le type de coefficient calculé est indiqué : ici « absolute agreement » signifie que les différences qui sont relevées entre les mesures sont dépendantes. Le nom des 2 variables est « Luedde SPBCE » et « TDM SPBCE », pour les mesures réalisées par l'observateur N°1, qui est noté « O1 ».

Intraclass Correlation Coefficient

	Intraclass correlation ^a	95% Confidence Interval
Single measures ^b	0,5873	0,06439 to 0,8078
Average measures ^c	0,7400	0,1210 to 0,8937

^a The degree of absolute agreement among measurements.

^b Estimates the reliability of single ratings. ^c Estimates the reliability of averages of *k* ratings.

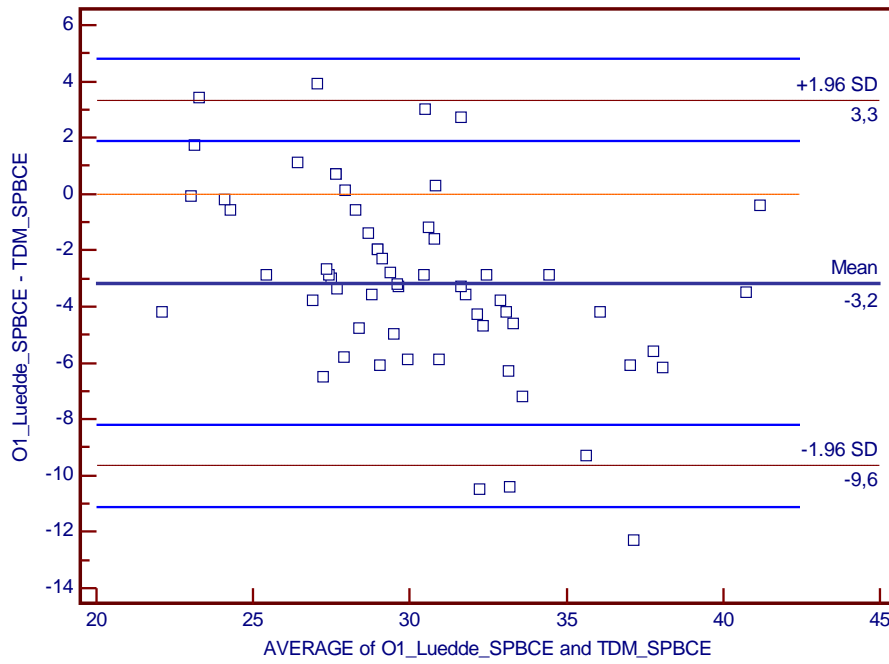
Comme nous l'avons vu lors de la description de la méthode statistique, nous interprétons ici le premier coefficient (sur mesures brutes). Ici, il est de 0,5873 avec un intervalle de confiance de [0,06439 ; 0,8078].

Si l'on se réfère à l'échelle d'interprétation décrite précédemment, cela correspond à une **concordance modérée**. De plus, l'intervalle de confiance est large, ce qui confirme cette interprétation.

Le graphique de BLAND et ALTMAN suivant, associé au coefficient de corrélation intraclasse, donne la moyenne des différences entre 2 mesures.

On voit ici qu'elle est de -3,2, ce qui est élevé et signifie que **l'exophtalmomètre Luedde donne, en moyenne, des mesures plus petites que la biométrie tomodynamométrique**.

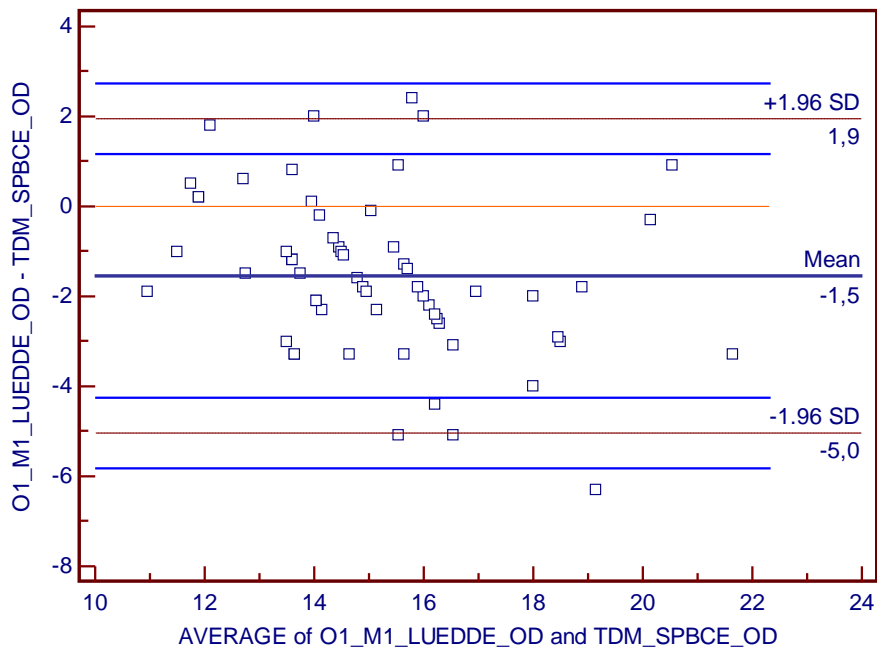
L'intervalle de confiance de cette moyenne est également indiqué : [-9,6 ; 1.96]. Cet intervalle de confiance est également large ce qui confirme le fait que la **concordance entre les 2 mesures est modérée**.



Si l'on distingue les yeux droits des yeux gauches, nous retrouvons la même tendance :

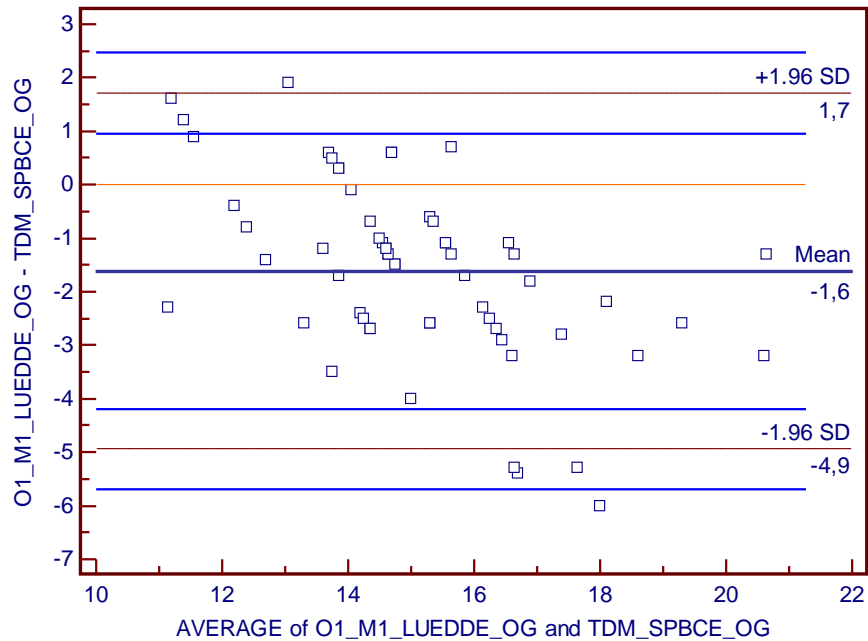
- Yeux droits :

	Intraclass correlation ^a	95% Confidence Interval
Single measures ^b	0,6063	0,1299 to 0,8104
Average measures ^c	0,7549	0,2299 to 0,8953



- Yeux gauches :

	Intraclass correlation ^a	95% Confidence Interval
Single mesures ^b	0,5615	0,05065 to 0,7906
Average mesures ^c	0,7192	0,09642 to 0,8831



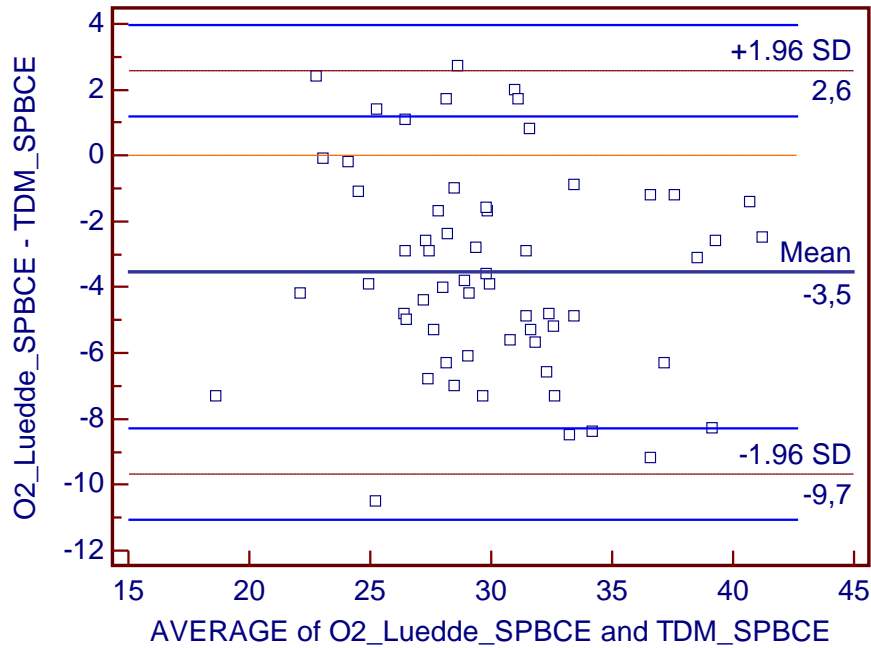
*** OBSERVATEUR N°2 (O2):**

Intraclass Correlation Coefficient

	Intraclass correlation ^a	95% Confidence Interval
Single mesures ^b	0,6413	0,007516 to 0,8551
Average mesures ^c	0,7815	0,01492 to 0,9219

^a The degree of absolute agreement among measurements.

^b Estimates the reliability of single ratings. ^c Estimates the reliability of averages of *k* ratings.



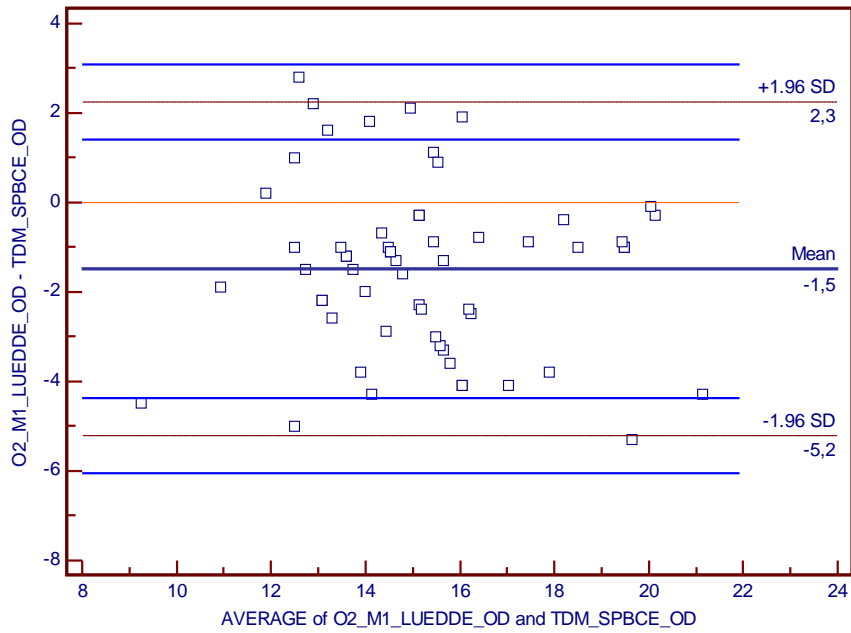
Nous retrouvons un coefficient de corrélation intraclasse de 0,6413 avec un large intervalle de confiance de [0,007516 ; 0,8551]. Il existe également une moyenne des différences entre 2 mesures de -3,5 sur le graphique de Bland et Altman. La **concordance est donc modérée avec sous-estimation des mesures.**

Cela est donc **globalement comparable aux observations de l'observateur N°1.**

Si l'on distingue les yeux droits des yeux gauches dans l'analyse statistique, nous retrouvons des données comparables :

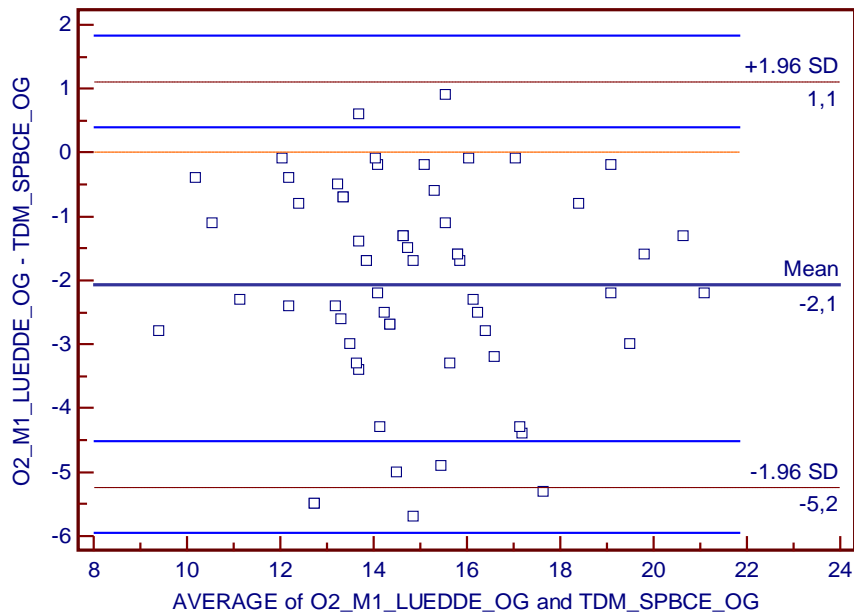
- Yeux droits :

	Intraclass correlation ^a	95% Confidence Interval
Single mesures ^b	0,6289	0,2120 to 0,8141
Average mesures ^c	0,7722	0,3498 to 0,8976



- Yeux gauches:

	Intraclass correlation ^a	95% Confidence Interval
Single measures ^b	0,6084	-0,05070 to 0,8460
Average measures ^c	0,7565	-0,1068 to 0,9166



Les mesures réalisées avec l'appareil de LUEDDE ont une concordance MODEREE avec les biométries tomodensitométriques, et sous-estiment les valeurs de protrusion oculaire chez les 2 observateurs, pour les yeux droits et gauches.

III-2-b) Concordance SPBCE – exophthalmomètre de HERTEL / SPBCE – TDM :

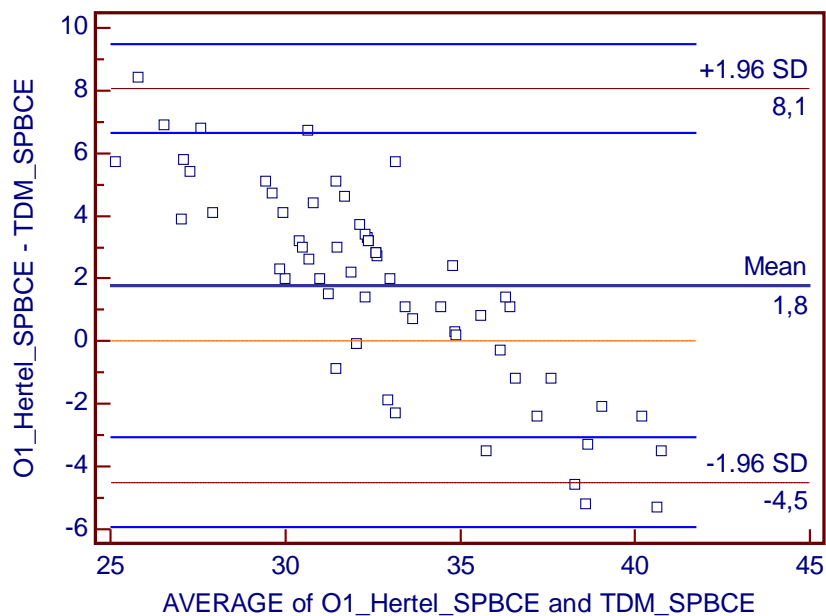
*** OBSERVATEUR N°1 :**

Intraclass Correlation Coefficient

	Intraclass correlation ^a	95% Confidence Interval
Single measures ^b	0,6319	0,3617 to 0,7870
Average measures ^c	0,7744	0,5313 to 0,8808

^a The degree of absolute agreement among measurements.

^b Estimates the reliability of single ratings. ^c Estimates the reliability of averages of *k* ratings.



Chez l'observateur N°1, on obtient donc un coefficient de corrélation intraclass de 0,6319 avec intervalle de confiance de [0,3617 ; 0,7870].

La concordance est donc modérée mais meilleure qu'avec l'appareil de Luedde, avec un intervalle de confiance assez large.

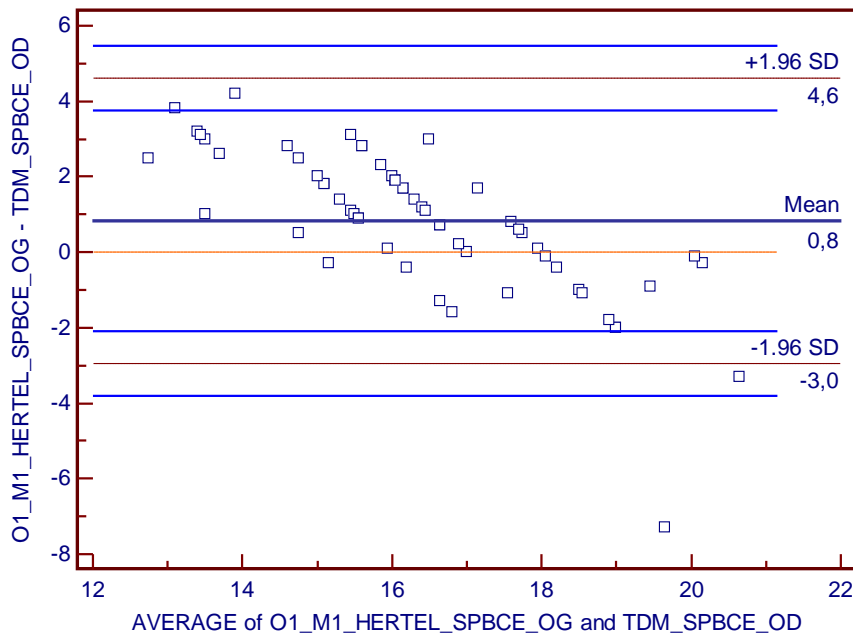
Sur le graphique de Bland et Altman, la moyenne des différences entre 2 mesures est de 1,8 ce qui indique une **surestimation des mesures**, en particulier pour les petites valeurs de SPBCE, alors qu'on note une sous-estimation des valeurs élevées.

Si l'on distingue les résultats pour les yeux droits et gauches, nous retrouvons la même tendance :

- Yeux droits :

Intraclass Correlation Coefficient

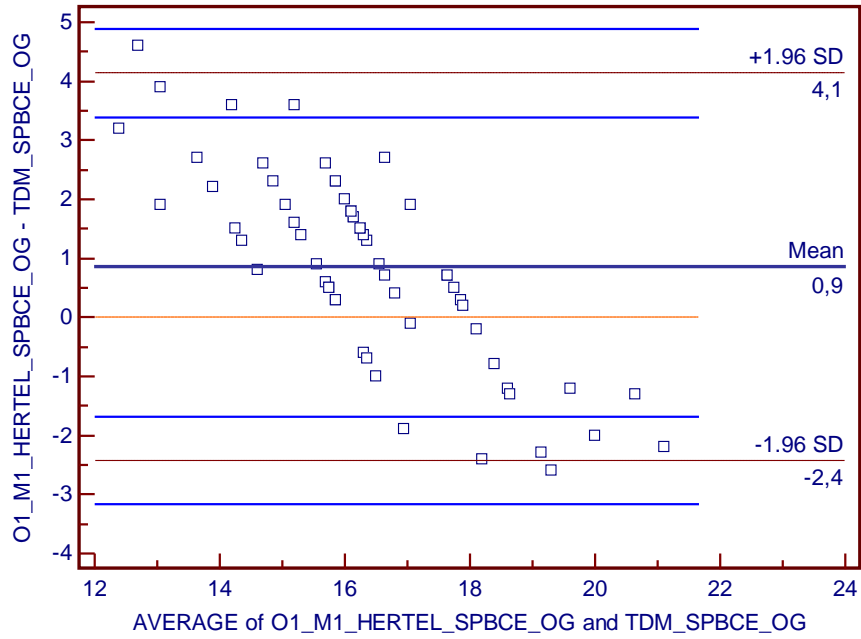
	Intraclass correlation ^a	95% Confidence Interval
Single measures ^b	0,6375	0,3666 to 0,7912
Average measures ^c	0,7786	0,5366 to 0,8834



- Yeux gauches :

Intraclass Correlation Coefficient

	Intraclass correlation ^a	95% Confidence Interval
Single measures ^b	0,6186	0,3687 to 0,7720
Average measures ^c	0,7643	0,5388 to 0,8714



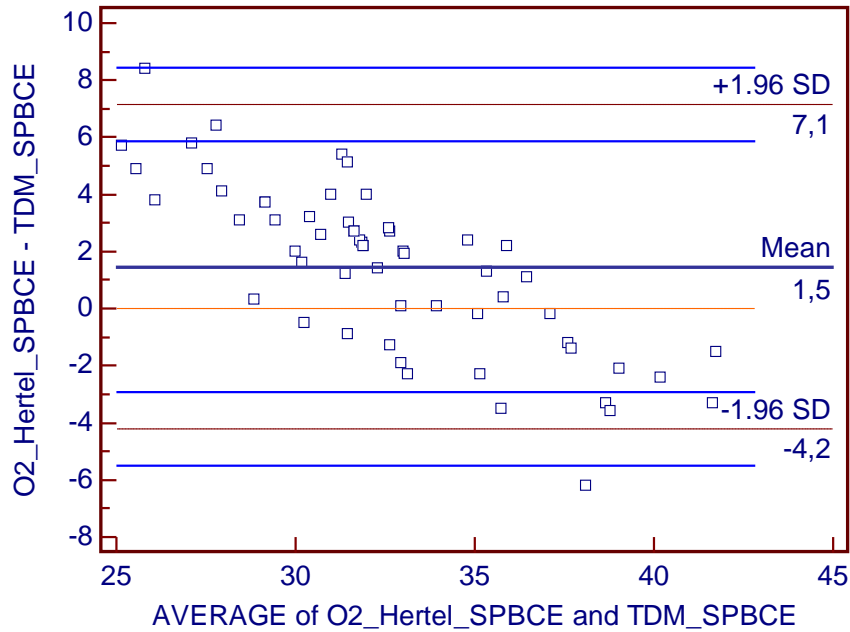
*** OBSERVATEUR N°2 :**

Intraclass Correlation Coefficient

	Intraclass correlation ^a	95% Confidence Interval
Single measures ^b	0,7203	0,5033 to 0,8397
Average measures ^c	0,8374	0,6696 to 0,9129

^a The degree of absolute agreement among measurements.

^b Estimates the reliability of single ratings. ^c Estimates the reliability of averages of *k* ratings.



Pour l'observateur N°2, les résultats avec l'exophtalmomètre de Hertel montrent une **concordance plutôt bonne** avec un coefficient de corrélation intraclass de 0,7203 avec intervalle de confiance de [0,5033 ; 0,8397], ce qui correspond à la **limite inférieure d'un accord considéré comme « bon »**, mais avec un intervalle de confiance tout de même assez large.

Les résultats sont **meilleurs que ceux retrouvés avec la baguette de LUEDDE.**

D'autre part, on constate sur le graphique de Bland et Altman une **surestimation** globale des valeurs (moyenne des différences entre 2 mesures : 1,5). Cela est constaté surtout pour de petites valeurs de SPBCE, alors qu'on observe une sous-estimation des valeurs élevées.

Si l'on distingue les résultats pour les yeux droits et gauches :

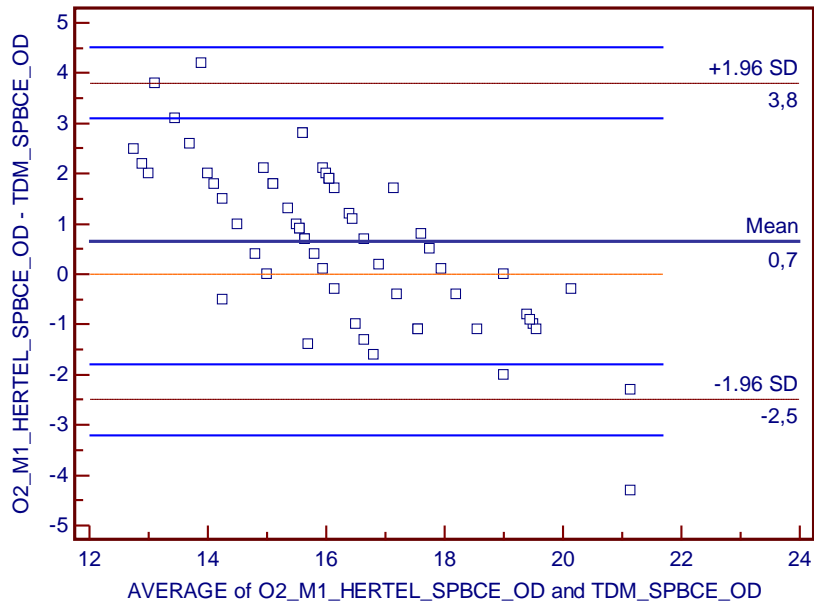
- Yeux droits :

Intraclass Correlation Coefficient

	Intraclass correlation ^a	95% Confidence Interval
Single measures ^b	0,6967	0,5099 to 0,8151
Average measures ^c	0,8212	0,6754 to 0,8981

^a The degree of absolute agreement among measurements.

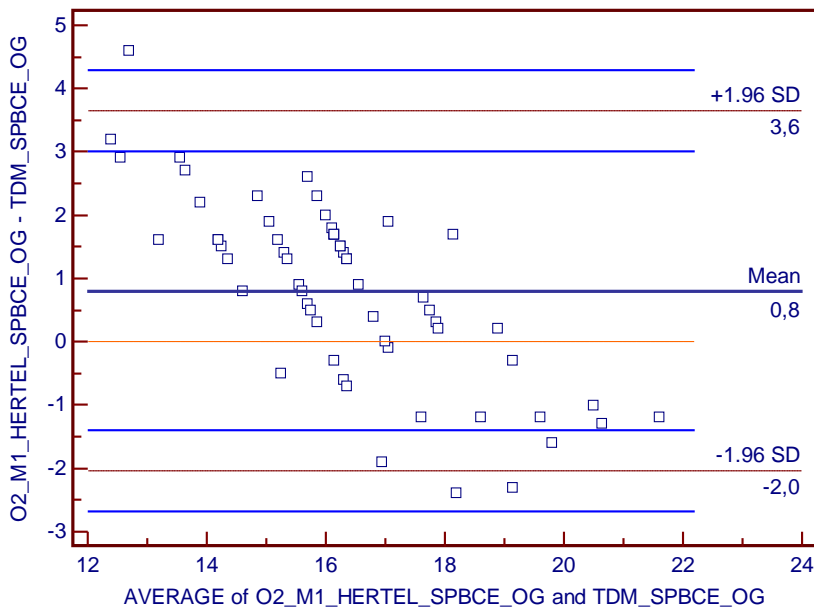
^b Estimates the reliability of single ratings. ^c Estimates the reliability of averages of *k* ratings.



- Yeux gauches :

Intraclass Correlation Coefficient

	Intraclass correlation ^a	95% Confidence Interval
Single measures ^b	0,7213	0,4770 to 0,8459
Average measures ^c	0,8381	0,6459 to 0,9165



Donc, lorsque l'on distingue les résultats des yeux droits et gauches chez l'observateur N°2, on constate que la **concordance est modérée pour les yeux droits, et bonne pour les yeux gauches.**

Les mesures réalisées avec l'exophtalmomètre de HERTEL ont une concordance MODEREE à BONNE avec les biométries tomодensitométriques, modérées chez l'observateur N°1, modérée pour les yeux droits mais bonne pour les yeux gauches chez l'observateur N°2.

De plus, les valeurs sont globalement surestimées. Et en particulier, les petites valeurs de SPBCE sont surestimées, alors que les valeurs élevées de SPBCE sont sous-estimées.

III-2-c) Concordance SPBCE – exophtalmomètre de MOURITS / SPBCE – TDM :

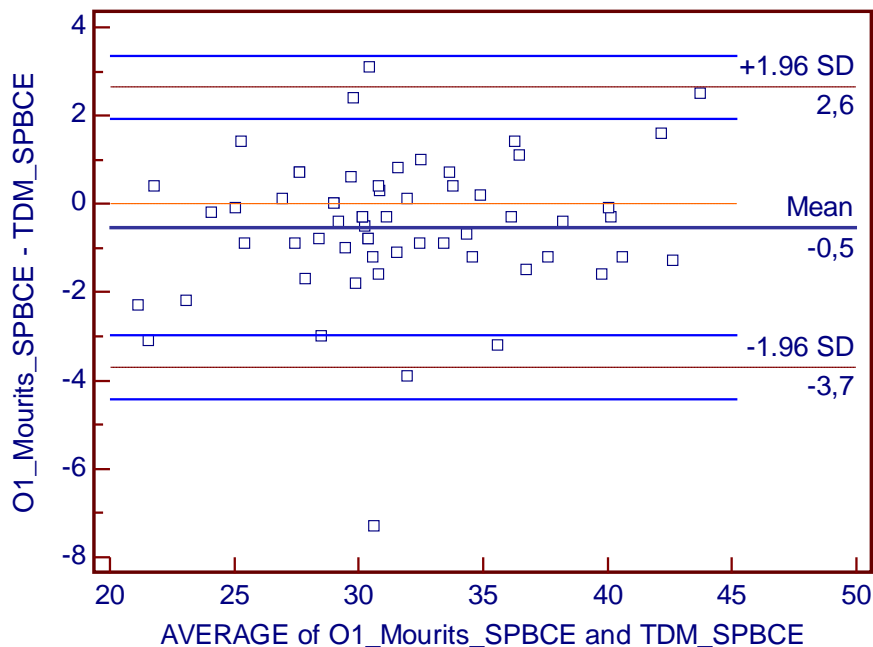
*** OBSERVATEUR N°1 :**

Intraclass Correlation Coefficient

	Intraclass correlation ^a	95% Confidence Interval
Single measures ^b	0,9493	0,9122 to 0,9703
Average measures ^c	0,9740	0,9541 to 0,9849

^a The degree of absolute agreement among measurements.

^b Estimates the reliability of single ratings. ^c Estimates the reliability of averages of *k* rating



L'observateur N°1 obtient, avec l'exophtalmomètre de MOURITS, des résultats ayant une **concordance** estimée « **très bonne** » avec les biométries tomодensitométriques.

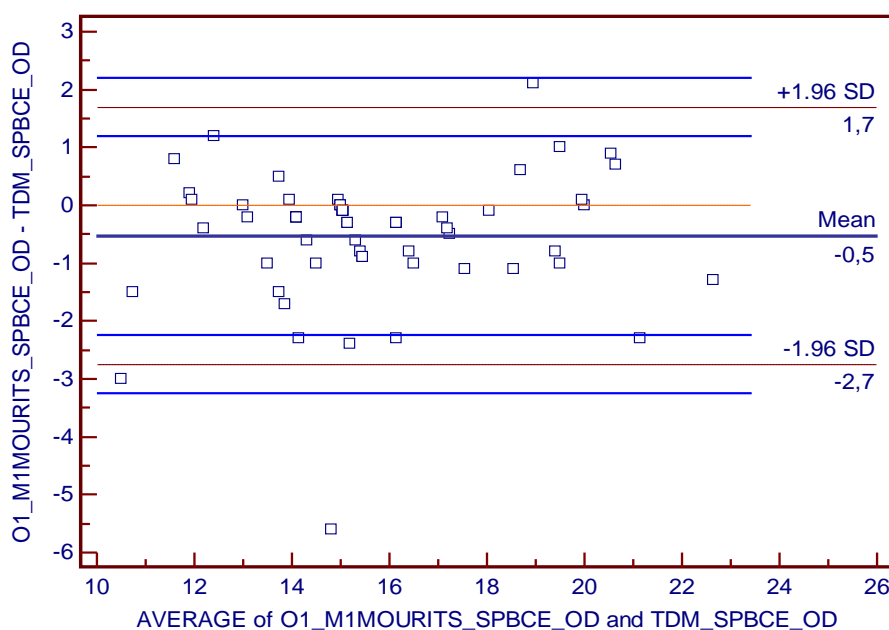
Le coefficient de corrélation intraclasse de 0,9493 pour un intervalle de confiance étroit de [0,9122 ; 0,9703] confirme ce très bon résultat.

Cela se retrouve également sur le graphique de Bland et Altman, avec une moyenne des différences entre 2 mesures de -0,5 indiquant une **légère sous-estimation** des mesures.

Lorsque l'on distingue les résultats pour les yeux droits et gauches, on retrouve la même tendance :

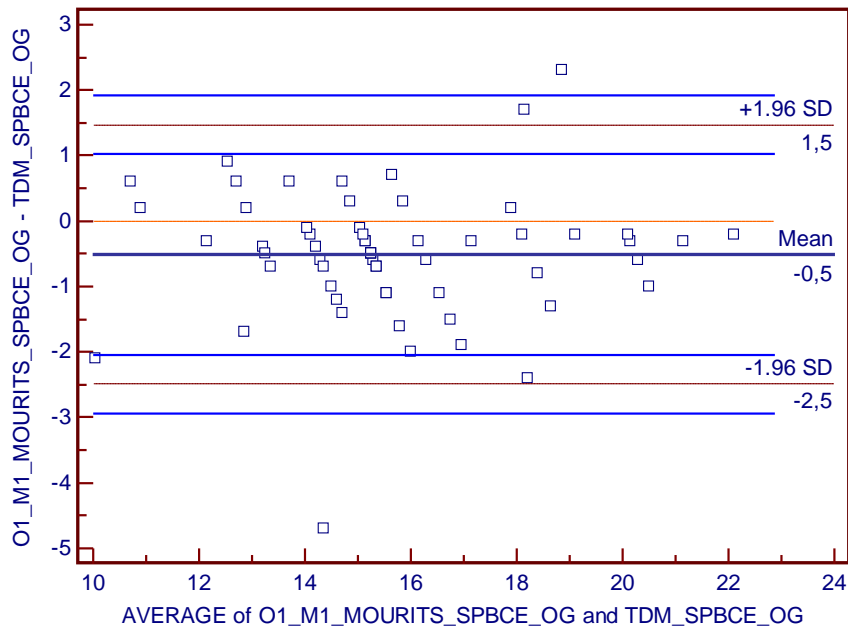
- Yeux droits :

	Intraclass correlation ^a	95% Confidence Interval
Single mesures ^b	0,8992	0,8030 to 0,9450
Average mesures ^c	0,9469	0,8907 to 0,9717



- Yeux gauches:

	Intraclass correlation ^a	95% Confidence Interval
Single mesures ^b	0,9095	0,8107 to 0,9524
Average mesures ^c	0,9526	0,8955 to 0,9756



La **concordance pour les yeux droits est bonne** avec un coefficient de corrélation intraclasse élevé de 0,8992. Elle est **également bonne pour les yeux gauches**, avec un coefficient de corrélation intraclasse également élevé de 0,9095 à la limite supérieure d’une interprétation considérée comme « bonne » (accord « très bon » si coefficient > 0,91).

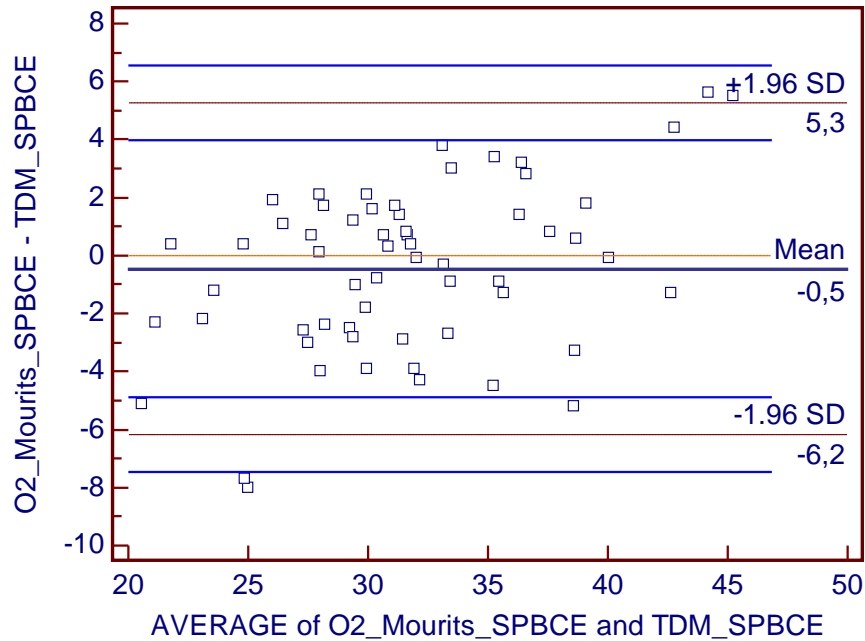
*** OBSERVATEUR N°2:**

Intraclass Correlation Coefficient

	Intraclass correlation ^a	95% Confidence Interval
Single measures ^b	0,8724	0,7958 to 0,9217
Average measures ^c	0,9319	0,8863 to 0,9592

^a The degree of absolute agreement among measurements.

^b Estimates the reliability of single ratings. ^c Estimates the reliability of averages of *k* ratings.



Pour l'observateur N°2, on obtient des résultats avec l'exophtalmomètre de MOURITS dont la **concordance** est estimée « **bonne** ». Le **coefficient de corrélation intraclass** est **élevé** à 0,87 avec un intervalle de confiance réduit de [0,7958 ; 0,9217] ce qui va dans le sens de ce bon accord.

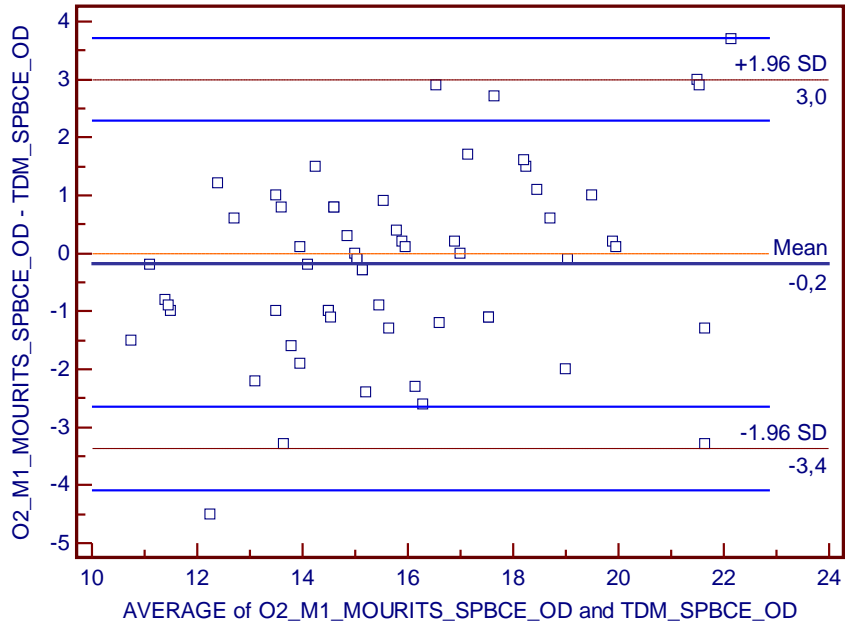
Cela se confirme également sur le graphique de Bland et Altman avec une moyenne des différences entre 2 mesures de -0,5 qui est identique à celle de l'observateur N°1 et indique une **légère sous-estimation des mesures**.

Chez l'observateur N°2, avec l'appareil de MOURITS, la concordance est donc bonne, avec un coefficient de corrélation supérieur à celui retrouvé avec l'exophtalmomètre de HERTEL.

Si l'on distingue l'analyse statistique des yeux droits et gauches, nous retrouvons des résultats similaires :

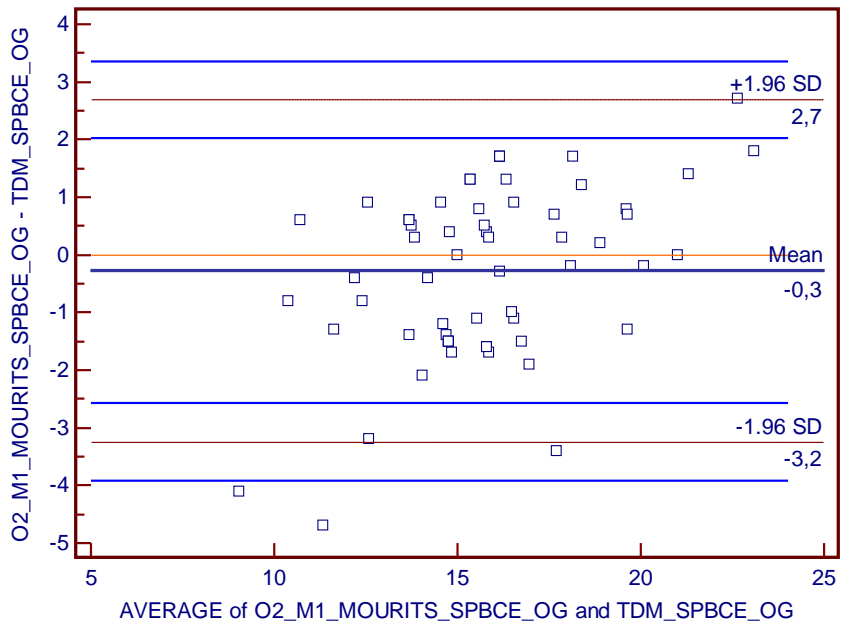
- Yeux droits:

	Intraclass correlation ^a	95% Confidence Interval
Single measures ^b	0,8505	0,7621 to 0,9078
Average measures ^c	0,9192	0,8650 to 0,9517



- Yeux gauches:

	Intraclass correlation ^a	95% Confidence Interval
Single measures ^b	0,8673	0,7876 to 0,9185
Average measures ^c	0,9289	0,8812 to 0,9575



Les mesures réalisées avec l'exoptalmomètre de MOURITS ont une concordance **BONNE à TRES BONNE** avec les biométries tomодensitométriques, chez les 2 observateurs, sur les yeux droits et gauches.

Il existe une **légère sous-estimation** des valeurs de SPBCE avec cet instrument.

CONCLUSION DE L'ANALYSE PRINCIPALE:

Tableau récapitulatif:

	Coefficient	ICC à 95%	Interprétation de l'accord
Luedde O1	0.5873	[0.06439 ; 0.8078]	Modéré
Luedde O2	0.6413	[0.007516 ; 0.8551]	Modéré
Hertel O1	0.6319	[0.3617 ; 0.7870]	Modéré
Hertel O2	0.7203	[0.5033 ; 0.8397]	Bon (limite inf)
Mourits O1	0.9493	[0.9122 ; 0.9703]	Très bon
Mourits O2	0.87	[0.7958 ; 0.9217]	Bon

En distinguant les mesures des yeux droits et gauches, on obtient le tableau suivant :

Instrument	SPBCE_OD			SPBCE_OG		
	Coefficient	ICC à 95%	Interprétation	Coefficient	ICC à 95%	Interprétation
Luedde O1	0.61	[0.13 ; 0.81]	Modéré	0.56	[0.05 ; 0.80]	Modéré
Luedde O2	0.63	[0.21 ; 0.81]	Modéré	0.61	[-0.05 ; 0.80]	Modéré
Hertel O1	0.64	[0.36 ; 0.79]	Modéré	0.62	[0.37 ; 0.77]	Modéré
Hertel O2	0.70	[0.51 ; 0.81]	Modéré	0.72	[0.47 ; 0.80]	Bon (limite inf)
Mourits O1	0.90	[0.80 ; 0.95]	Bon	0.91	[0.80 ; 0.95]	Bon (limite sup)
Mourits O2	0.85	[0.76 ; 0.91]	Bon	0.86	[0.79 ; 0.92]	Bon

En reprenant la valeur des coefficients de corrélation intraclasse calculés avec leur intervalle de confiance et leur interprétation, nous pouvons conclure que l'instrument qui donne de bonnes à très bonnes mesures, proches de celles de la biométrie tomodynamométrique est l'exophtalmomètre de MOURITS.

En détaillant davantage l'analyse, nous observons que l'appareil dont les mesures sont les plus éloignées des biométries tomodynamométriques, chez les 2 observateurs, est la baguette de LUEDDE.

Quant à l'exophtalmomètre de HERTEL, il permet d'obtenir des mesures avec une corrélation intermédiaire, modérée à plutôt bonne, avec les biométries tomodynamométriques.

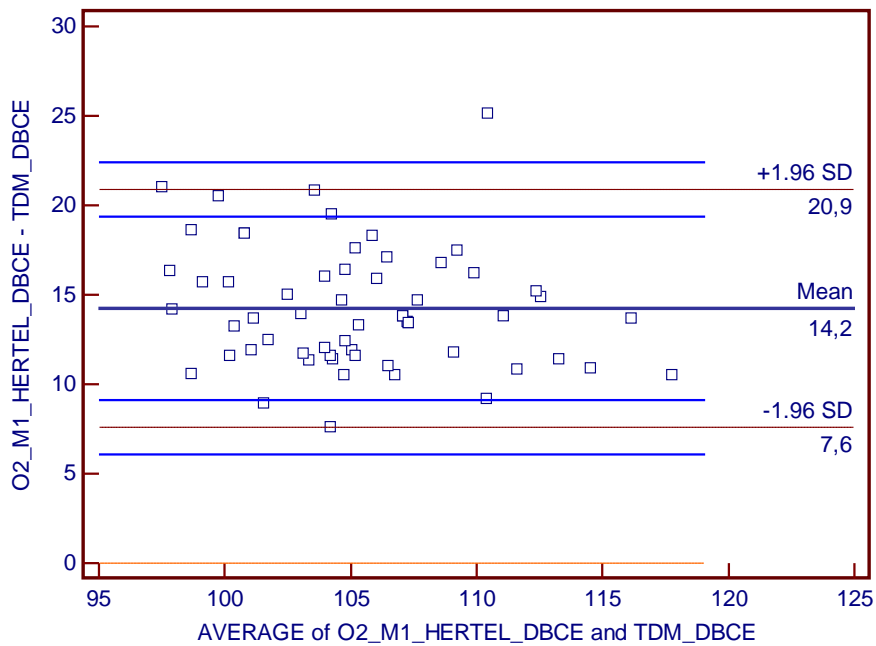
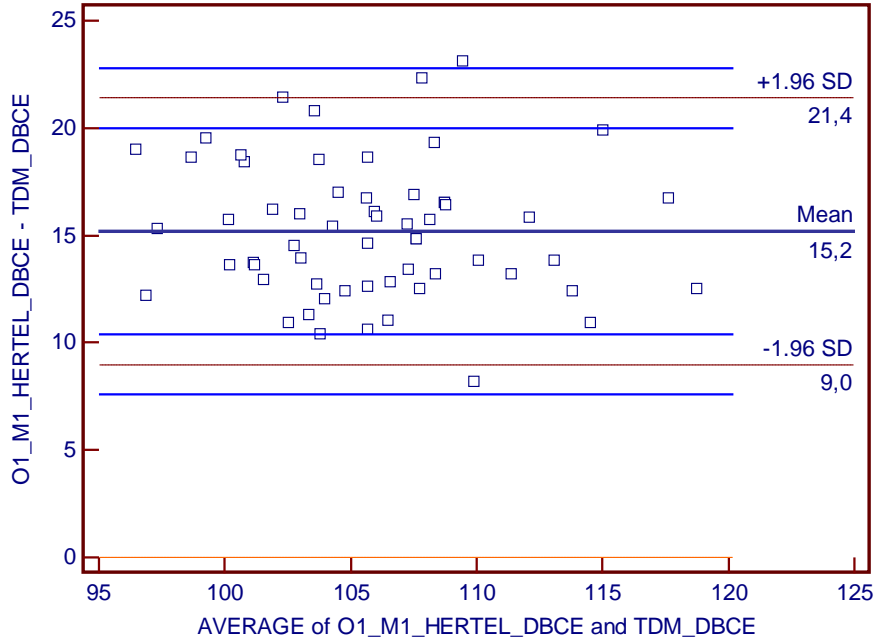
Ainsi, les résultats sont meilleurs avec l'exophtalmomètre de HERTEL qu'avec la baguette de LUEDDE, mais moins bons qu'avec l'exophtalmomètre de MOURITS.

III-3) Analyse secondaire :

III-3-a) Recherche de concordance pour les mesures de distance bicanthale externe (DBCE) :

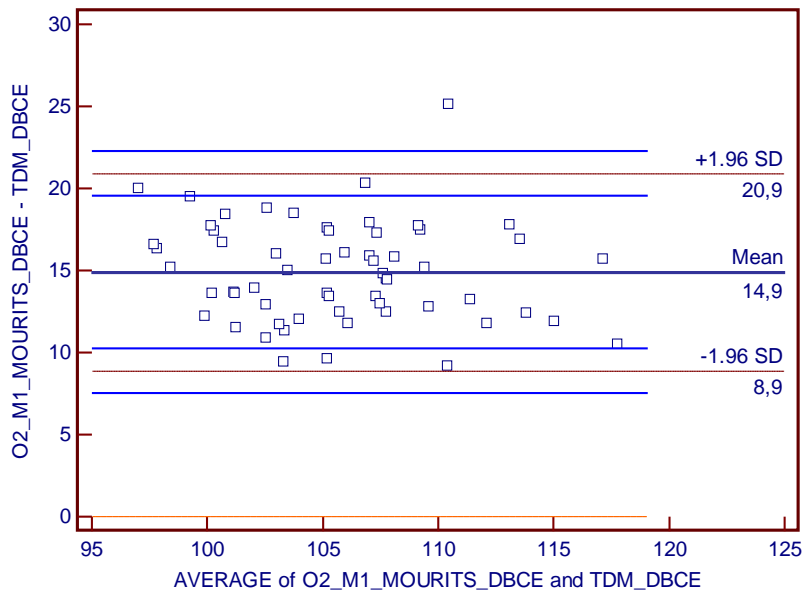
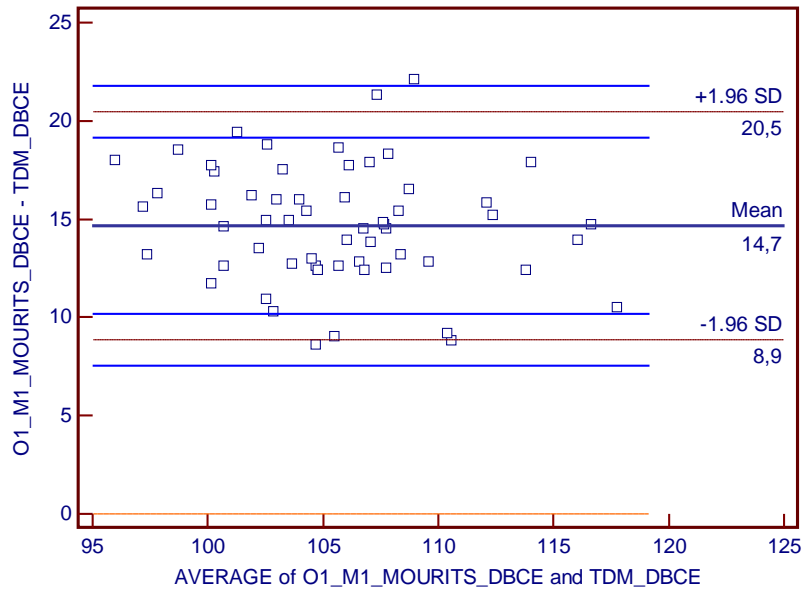
- Concordance DBCE Hertel et Mourits Vs Biométrie : OBSERVATEUR N°1 :

Instrument	DBCE		
	Coefficient	ICC95%	Interprétation
Hertel O1	0.14	[-0.02 ; 0.47]	Très mauvais
Mourits O1	0.16	[-0.01 ; 0.48]	Très mauvais



- **Concordance DBCE Hertel et Mourits Vs Biométrie : OBSERVATEUR N°2 :**

Instrument	DBCE		
	Coefficient	ICC95%	Interprétation
Hertel O2	0.15	[-0.02 ; 0.47]	Très mauvais
Mourits O2	0.15	[-0.01 ; 0.48]	Très mauvais



On remarque que les **résultats de la concordance sont très mauvais, pour les 2 observateurs, et qu'il n'y a pas d'instrument qui donne des mesures de distance bicanthale externe proches des valeurs de référence faites avec la biométrie tomodensitométrique.**

III-3-b) Reproductibilité intra-observateurs :

La recherche de reproductibilité intra-observateur a été faite par le calcul du coefficient de corrélation intraclass et par des graphiques de Bland et Altman, en comparant les 2 séries de mesures (M1 et M2) pour chaque observateurs N°1 (O1) et N°2 (O2).

Par exemple, pour la recherche de reproductibilité intra-observateur pour l'observateur N°1 avec la baguette de Luedde, pour les yeux droits, en comparant les 2 séries de mesures réalisées :

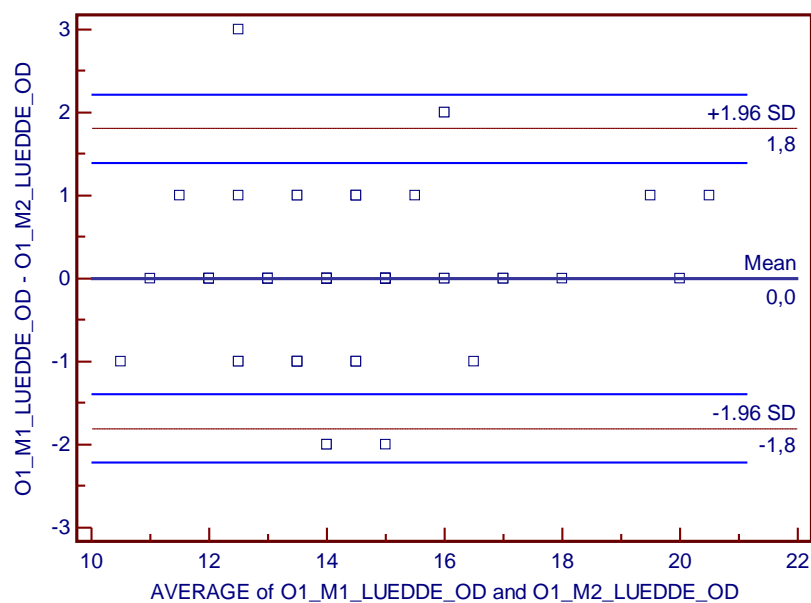
Number of subjects (n)	60
Number of raters (k)	2
Model	The same raters for all subjects. Two-way model.
Type	Absolute agreement
Measurements	O1_M1_LUEDDE_OD O1_M2_LUEDDE_OD

Intraclass Correlation Coefficient

	Intraclass correlation ^a	95% Confidence Interval
Single measures ^b	0,9009	0,8394 to 0,9396
Average measures ^c	0,9479	0,9127 to 0,9689

^a The degree of absolute agreement among measurements.

^b Estimates the reliability of single ratings. ^c Estimates the reliability of averages of k ratings.



Pour l'observateur N°1, nous retrouvons une reproductibilité intra-observateur estimée “bonne” avec la baguette de Luedde sur les yeux droits.

Nous avons réalisé ainsi le tableau récapitulatif suivant :

Mesure	Instrument	Observateur O1		
		Coefficient	ICC95%	Interprétation
SPBCE_OD	Luedde	0.90	[0.84 ; 0.94]	Bon
	Hertel	0.92	[0.88 ; 0.95]	Très bon
	Mourits	0.95	[0.90 ; 0.97]	Très bon
SPBCE_OG	Luedde	0.89	[0.82 ; 0.93]	Bon
	Hertel	0.88	[0.80 ; 0.93]	Bon
	Mourits	0.94	[0.90 ; 0.97]	Très bon
DBCE	Hertel	0.94	[0.90 ; 0.96]	Très bon
	Mourits	0.95	[0.92 ; 0.97]	Très bon

Mesure	Instrument	Observateur O2		
		Coefficient	ICC95%	Interprétation
SPBCE_OD	Luedde	0.82	[0.72 ; 0.89]	Bon
	Hertel	0.75	[0.61 ; 0.84]	Bon
	Mourits	0.94	[0.90 ; 0.96]	Très bon
SPBCE_OG	Luedde	0.83	[0.72 ; 0.89]	Bon
	Hertel	0.81	[0.70 ; 0.88]	Bon
	Mourits	0.93	[0.89 ; 0.96]	Très bon
DBCE	Hertel	0.85	[0.76 ; 0.91]	Bon
	Mourits	0.93	[0.89 ; 0.96]	Très bon

On remarque que **la reproductibilité intra-observateur est bonne, pour les 2 observateurs**, ce qui signifie que les résultats de la première et de la deuxième mesure sont très proches.

Cependant on observe que **l'observateur N°1, plus expérimenté, a une meilleure reproductibilité** que l'observateur N°2.

On remarque également que **la reproductibilité est meilleure avec l'exophthalmomètre de Mourits** que ce soit pour l'observateur N°1 ou l'observateur N°2, ceci pour toutes les mesures qui ont été faites, SPBCE ou DBCE.

III-3-c) Reproductibilité inter-classe / inter-observateurs :

L'analyse a été effectuée, de même, par le calcul du coefficient de corrélation intraclass et par des graphiques de Bland et Altman.

Par exemple : recherche de reproductibilité entre observateur N°1 (O1) et N°2 (O2) pour les mesures de protrusion oculaire (SPBCE) des yeux droits (OD) :

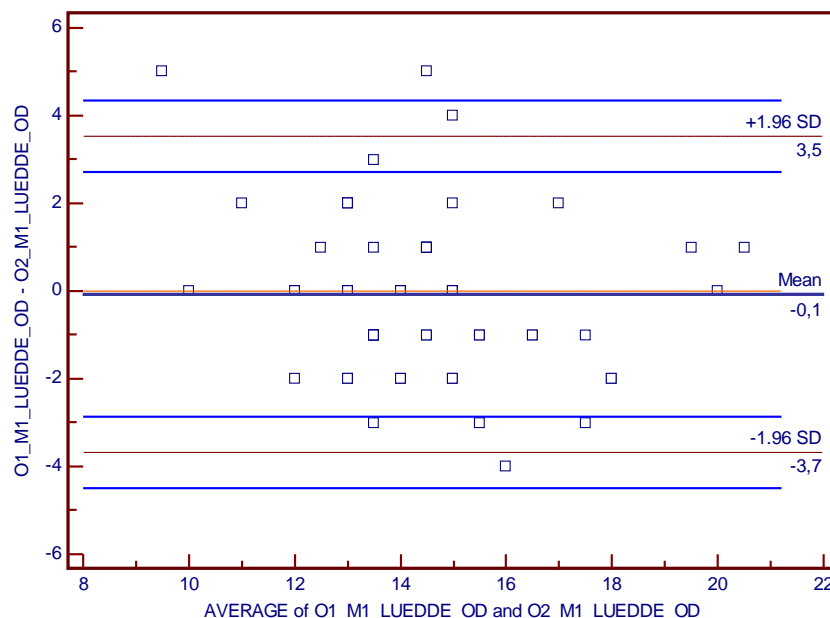
Number of subjects (n)	60
Number of raters (k)	2
Model	The same raters for all subjects. Two-way model.
Type	Absolute agreement
Measurements	O1_LUEDDE_OD O2_LUEDDE_OD

Intraclass Correlation Coefficient

	Intraclass correlation ^a	95% Confidence Interval
Single measures ^b	0,6861	0,5242 to 0,8000
Average measures ^c	0,8138	0,6878 to 0,8889

^a The degree of absolute agreement among measurements.

^b Estimates the reliability of single ratings. ^c Estimates the reliability of averages of k ratings



Ainsi, on retrouve ici une reproductibilité modérée des mesures de SPBCE des yeux droits avec la baguette de Luedde entre les observateurs N°1 et N°2.

Nous avons ainsi réalisé le tableau récapitulatif suivant :

Mesure	Instrument	Coefficient	ICC95%	Interprétation
SPBCE_OD	Luedde	0.69	[0.52 ; 0.80]	Modéré
	Hertel	0.83	[0.73 ; 0.90]	Bon
	Mourits	0.89	[0.82 ; 0.93]	Bon
SPBCE_OG	Luedde	0.74	[0.61 ; 0.84]	Bon
	Hertel	0.77	[0.63 ; 0.85]	Bon
	Mourits	0.89	[0.83 ; 0.94]	Bon
DBCE	Hertel	0.89	[0.79 ; 0.94]	Bon
	Mourits	0.94	[0.90 ; 0.96]	Très bon

On remarque que la reproductibilité inter-observateurs est modérée pour la mesure de protrusion oculaire des yeux droits avec la baguette de Luedde.

Pour les autres mesures, **la reproductibilité inter-observateurs est bonne**, voire très bonne, ce qui signifie que les mesures faites par les observateurs sont proches.

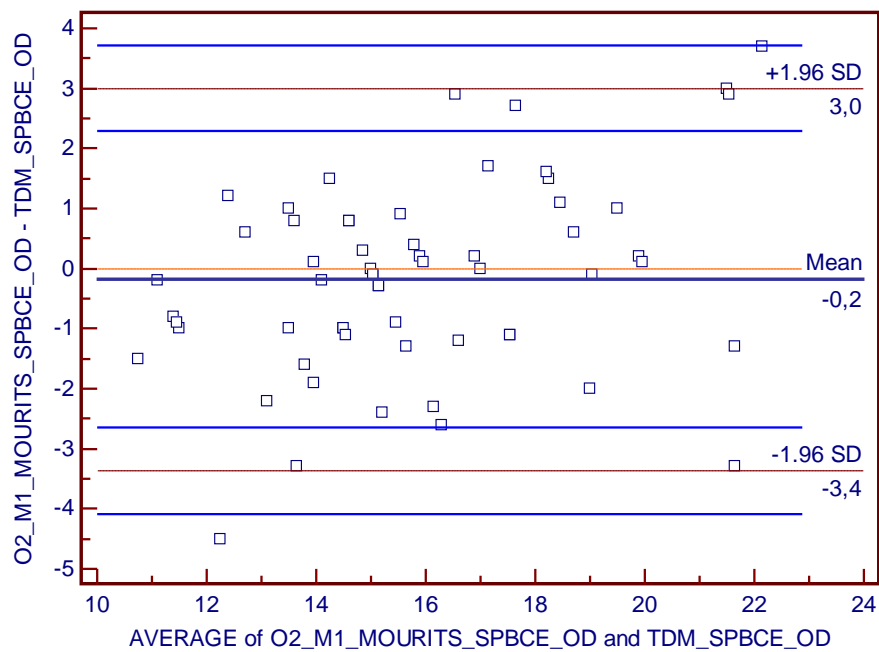
On remarque également que pour la mesure de DBCE, les observateurs font les mêmes mesures alors qu'elles ne sont pas bonnes en comparaison avec la biométrie tomodensitométrique.

Enfin, on note que les coefficients de corrélation sont meilleurs pour l'appareil de Mourits, intermédiaires pour l'appareil de Hertel et plus faibles pour la baguette de Luedde, bien que interprétés comme « bons » pour les 3 exophtalmomètres.

III-3-d) Les mesures sont-elles « plus exactes » pour une SPBCE de 18 mm ?

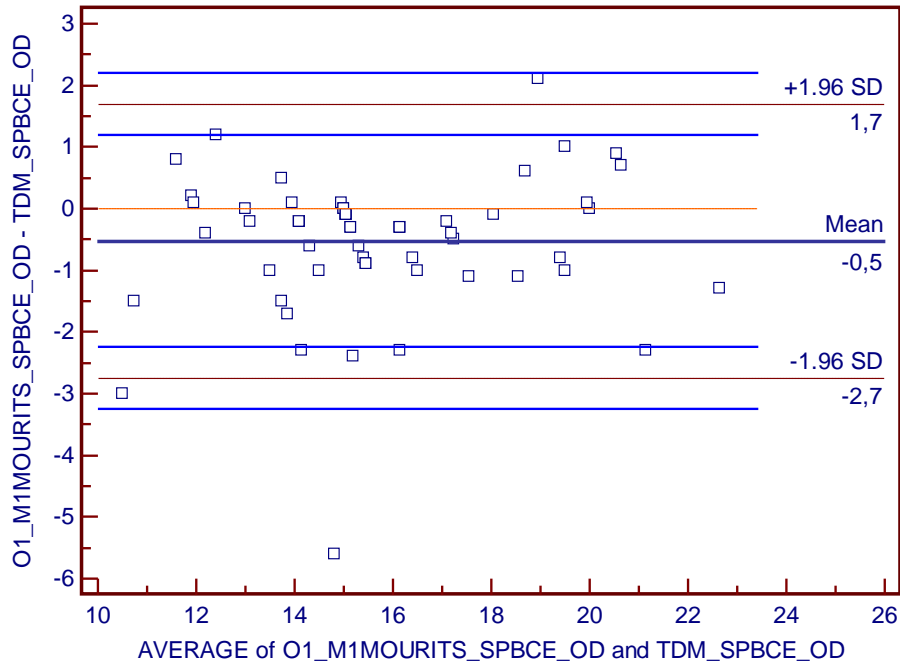
Un des objectifs secondaires de cette étude est de déterminer si l'un des deux appareils semble plus exact pour la valeur 18 (mm) de l'exophtalmométrie. Ceci n'est pas possible.

Cependant à partir des diagrammes de Bland & Altman, nous pouvons déterminer des tendances en regardant la différence en fonction de la moyenne des valeurs.

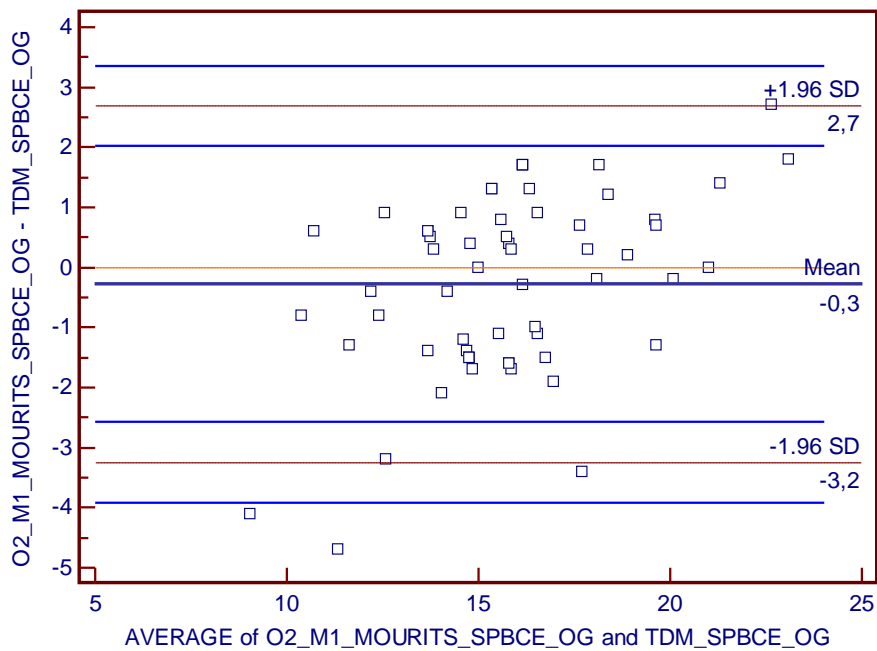
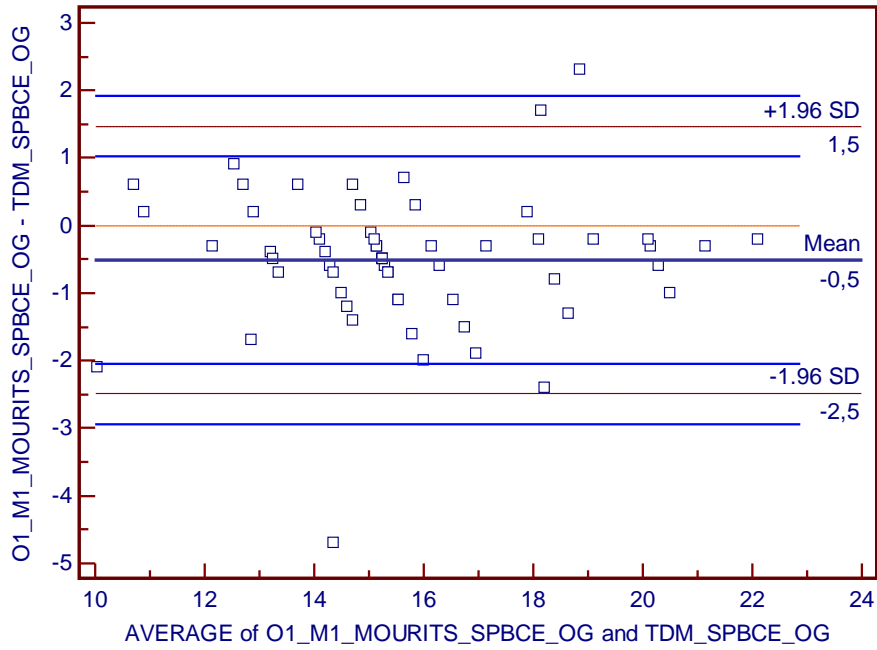


Par exemple, si nous prenons le graphique ci-dessus, correspondant à la concordance entre la première mesure de l'observateur N°2 de SPBCE pour l'œil droit et la même mesure faite avec la biométrie tomodynamométrique, nous remarquons que pour des mesures faibles la différence a tendance à être négative, c'est-à-dire que l'observateur donne des mesures plus petites que la biométrie. L'inverse est observé pour des mesures élevées ce qui signifie que l'observateur donne des mesures plus élevées que la biométrie. Nous remarquons également que pour des valeurs moyennes, autour de 15, la différence est plus petite et donc l'observateur et la biométrie ont tendance à dire la même chose.

Cette analyse peut être faite pour tous les coefficients de Bland & Altman.



Ici, le graphique ci-dessus correspond à la concordance entre la première mesure de l'observateur N°1 de SPBCE pour l'œil droit et la même mesure faite avec la biométrie tomodynamométrique. Nous notons, de même, que pour des mesures faibles la différence a tendance à être négative : l'observateur donne des mesures plus petites que la biométrie, mais cette différence est moindre que chez l'observateur N°2. L'inverse est observé pour des mesures élevées : l'observateur donne des mesures plus élevées que la biométrie, mais, là aussi, l'écart est moins grand que chez l'observateur N°2. Nous remarquons également que pour des valeurs moyennes, autour de 15 à 16, la différence est plus petite et donc l'observateur et la biométrie ont tendance à dire la même chose.



Ci-dessus, nous observons les tableaux de concordance entre la première mesure de l'observateur N°1 de SPBCE pour l'œil gauche et la même mesure faite avec la biométrie tomодensitométrique, et un graphique similaire pour les mesures de l'observateur N°2 pour l'œil gauche et la biométrie tomодensitométrique.

La même tendance est observée, à savoir une sous-estimation des valeurs faibles et une surestimation des valeurs élevées, plus marquée chez l'observateur N°2 que l'observateur

N°1, alors qu'il semble exister une meilleure concordance pour des valeurs aux alentours de 15 à 16 mm chez les 2 observateurs.

IV) DISCUSSION :

IV-1) Discussion autour du critère de jugement principal :

L'intérêt de cette étude repose sur le fait qu'il s'agisse d'une étude originale, prospective, permettant d'évaluer **l'efficacité de 3 exophtalmomètres par rapport aux mesures objectives tomодensitométriques**, sur 120 yeux. Elle permet en outre une évaluation de la reproductibilité intra- et inter-observateurs, avec réalisation de 2 séries de mesures par 2 observateurs différents.

A notre connaissance, aucune étude du même type n'a été réalisée, en particulier aucune étude avec réalisation préalable du calcul du nombre de sujets nécessaires.

Cependant, nous retrouvons dans la littérature plusieurs études recherchant une corrélation entre mesures d'exophtalmométrie et biométries scanographiques :

- En 1988, JL **George** avait réalisé une étude dans le but corréler les mesures d'exophtalmométrie avec l'appareil de Hertel et mesures scanographiques. 50 patients, enfants et adultes, ont été évalués cliniquement par un même observateur, puis ces données ont été comparées aux biométries tomодensitométriques. L'analyse statistique retrouvait une corrélation satisfaisante (coefficient de corrélation de 0,87) mais avec une dispersion assez importante (écart-type de 13,5). En conclusion, l'auteur retenait l'importance d'une technique de mesure bien définie avec l'exophtalmomètre de Hertel mais ne pouvait conclure clairement à une bonne corrélation de celui-ci aux mesures scanographiques, étant donnée une forte dispersion des valeurs (42).

- Une étude comparative entre exophtalmomètre de Hertel et biométrie tomodensitométrique, réalisée en 1993 par **Garaffini** (43), avait été menée chez l'enfant de moins de 10 ans (41 patients). Un seul appareil était alors évalué et comparé à la biométrie tomodensitométrique. L'auteur retrouvait une bonne corrélation des mesures de segment pré-bicanthal externe et biométries TDM chez l'enfant de plus de 3 ans, et concluait à l'intérêt des mesures d'exophtalmométries avec l'appareil de Hertel dans le dépistage des suspicions d'exophtalmies relatives chez l'enfant de plus de 3 ans.

- En 2010, **Hauck** a publié une étude concernant également les mesures d'exophtalmométries cliniques avec l'appareil de Hertel comparées au scanner, chez 53 patients souffrant de pathologies orbitaires (44 orbitopathies dysthyroïdiennes et 9 post-traumatiques), les mesures étant réalisées par un seul observateur expérimenté en utilisant une technique de mesure prédéfinie et comparable à celle de notre étude (44). Les mesures tomodensitométriques, pratiquées par un seul observateur, ont été réalisées dans le plan axial neuro-oculaire, décrit par Gibson (37).

Après calcul du coefficient de corrélation intraclasse établi à 0,95, Hauck conclut à une excellente corrélation entre les deux méthodes de mesures, avec légère surestimation de celles-ci par l'exophtalmomètre de Hertel.

Dans notre étude, nous retrouvons des coefficients de corrélation intraclasse inférieurs à ceux décrits dans ces études concernant la corrélation Hertel - biométries TDM, pour les 2 observateurs et dans les 2 séries de mesures réalisées.

Ces études ne comportent pas de calcul préalable du nombre de sujets nécessaires, un seul appareil est évalué, et un seul observateur a réalisé l'ensemble des mesures cliniques.

- Plus récemment, en 2002, **Segni** a réalisé une intéressante étude comparative de mesures d'exophtalmie par différentes techniques (45) : mesures cliniques avec un exophtalmomètre de Krahn (variante de l'appareil de Hertel) par 2 observateurs (ophtalmologiste et endocrinologue), et biométries tomodensitométriques, chez 42 patients présentant une orbitopathie dysthyroïdienne de type Basedow, lors de plusieurs séries de mesures. L'auteur retrouve, après analyse statistique bien menée, d'une part, une surestimation systématique des mesures par les 2 observateurs par rapport aux biométries tomodensitométriques, et d'autre part, une variation inter-observateurs non négligeable.

Cette étude est intéressante sur plusieurs points :

- elle concerne des patients exophtalmes pour la plupart d'entre eux
- les techniques de mesures cliniques et scanographiques sont bien définies (masque plastique spécifique lors des scanners pour limiter tout mouvement de la tête)
- une critique intéressante aux biométries tomодensitométriques est apportée : celles-ci ont été pratiquées sur la face postérieure de la cornée car la face antérieure peut-être confondue avec les annexes, alors que l'exophtalmométrie clinique est réalisée sur la face antérieure de la cornée, ce qui peut constituer une explication à la surestimation Hertel/ TDM dans cette étude
- enfin, l'auteur retrouve une bonne reproductibilité des mesures scanographiques (coefficient de corrélation de 0,988).
Cependant, la tête des patients était placée dans un masque plastique spécifique et il s'agit du même technicien qui a réalisé l'ensemble des mesures TDM.

L'auteur conclut alors à la nécessité de réalisation d'imagerie orbitaire avant toute décision thérapeutique, notamment chirurgicale, du traitement des exophtalmies, étant données la faible reproductibilité des mesures cliniques et la bonne fiabilité des biométries TDM.

Si nous comparons cette étude à la nôtre, en rapprochant l'évaluation de l'exophtalmomètre de Krahn réalisée ici à celle de l'exophtalmomètre Hertel pratiquée dans la nôtre, nous retrouvons également une corrélation modérée des exophtalmométries par rapport au scanner, avec surestimation des mesures. Cependant, la reproductibilité inter-observateurs est évaluée comme bonne dans notre étude contrairement à celle-ci.

Par ailleurs, concernant la technique de biométrie tomодensitométrique, nous avons privilégié dans notre étude la mise en évidence de la face antérieure de la cornée, en la distinguant dans la mesure du possible des annexes dans le plan choisi.

Nous avons ainsi placé l'extrémité du segment pré-bicanthal externe au niveau de ce que nous estimions être la face antérieure de la cornée pour chaque biométrie.

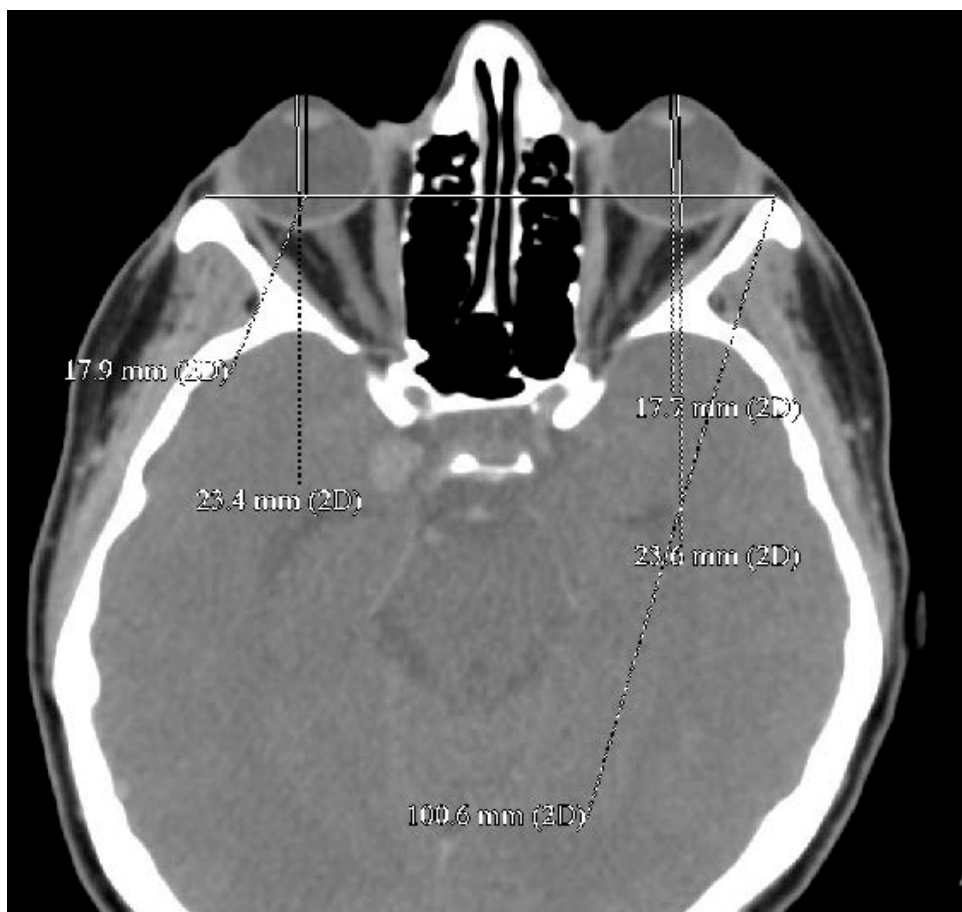


Fig. 22 : Exemple de biométrie tomodensitométrique de notre étude, où la face antérieure de la cornée est isolée et dégagée des annexes, afin de mesurer le segment pré-bicanthal externe dans le plan neuro-oculaire

- Enfin, des études ont été réalisées en utilisant les biométries tomodensitométriques comme élément de comparaison pour des mesures d'exophtalmométrie lors de lésions orbitaires post-traumatiques. Ainsi **Nkenke** a montré que l'exophtalmométrie avec l'appareil de Hertel est peu fiable dans de tels cas, étant donnée sa relation avec le rebord orbitaire externe, et que les

biométries tomodensitométriques et que l'imagerie optique 3D doivent être préférées pour le suivi de ces patients (46 et 47).

*** D'autre part, peu d'études comparatives entre différents exophtalmomètres ont été menées.**

Certaines d'entre elles comparaient des exophtalmomètres de nature différente, par exemple les appareils Hertel et de Naugle (48), d'autres évaluaient l'efficacité de divers exophtalmomètres de type Hertel, de fabricants différents ou de divers designs (19, 22). L'étude de Cole montre, après comparaison de mesures répétées faites par 2 observateurs avec les appareils de Hertel et Naugle (appuis sur les rebords orbitaires supérieur et inférieur) sur 135 patients sains, que les mesures réalisées avec l'exophtalmomètre de Naugle ont une meilleure reproductibilité que celles faites avec l'instrument de Hertel (48).

Dans une autre étude comparative, **Chang, Bank et Francis** ont comparé les exophtalmomètres de Hertel et de Luedde (7).

Deux observateurs ont réalisé à 2 reprises des mesures d'exophtalmométrie sur 50 patients avec chaque instrument, en respectant des techniques de mesures prédéfinies strictes. Ils n'ont pas retrouvé, après analyse statistique par tests T appariés, de différence significative entre les mesures réalisées avec les 2 instruments, contrairement à notre étude.

*** Le choix et la définition des techniques de mesure avec les différents exophtalmomètres revêtent une grande importance, conditionnant les résultats.**

Dans notre étude, les techniques de mesures pour chaque appareil ont été prédéfinies et réitérées par chaque observateur. Pour cela, nous nous sommes basés sur les recommandations de la littérature, notamment les études de Drews (5), Davanger (25), Luedde (26), et les plus récents travaux de Vardizer (19), O'Donnell (20) et Sleep (22) décrits dans nos généralités.

Comme nous l'avons vu cependant, aucune de ces techniques n'est irréprochable en termes de fiabilité, d'une part du fait de la nature imparfaite de ces appareils, notamment Luedde et Hertel, générateurs d'erreurs de parallaxe, et d'autre part du fait de la nature « clinique » de ces investigations, liées aux observateurs reproduisant plus ou bien ces diverses recommandations.

*** Nous nous devons de discuter la fiabilité des biométries tomодensitométriques qui ont été la mesure de référence dans notre étude.**

En effet, les biométries tomодensitométriques dans le plan neuro-oculaire (PNO), définies par Cabanis (31, 32, 34) permettent une **bonne reproductibilité, dès lors que le PNO strict est obtenu**. Grâce aux scanners actuels performants, comme le GE Light Speed VCT 64 barrettes utilisé dans cette étude, et à leurs logiciels, nous pouvons obtenir ce PNO, même si le patient n'a pas regardé strictement dans la direction souhaitée, comme nous l'avons décrit dans la section « matériels et méthodes ».

Dans l'étude de Segni (45), comme nous l'avons vu plus haut, la reproductibilité des biométries scanographiques a été évaluée : elle semble excellente, avec un coefficient de corrélation intraclasse de 0,988. Ici, la technique de biométrie a été définie selon les recommandations de Gibson (37), semblables à celles de Cabanis.

De récentes études de la littérature s'intéressent également à la fiabilité et reproductibilité des mesures faciales et orbitaires par tomодensitométrie 3D. En effet, plusieurs travaux ont été publiés en 2009 et 2010 concernant la recherche de reproductibilité et d'efficacité des mesures d'anthropométrie faciale et orbitaire par imagerie tomographique 3D (49, 50, 51 et 52).

Nous retenons notamment l'étude de **Berco** (51), évaluant l'exactitude et la reproductibilité de mesures céphaliques linéaires sur crâne humain par tomодensitométrie 3D. 2 observateurs différents ont réalisé les mesures à 4 reprises, alors que 2 acquisitions scanographiques ont été réalisées avec 2 orientations différentes du crâne.

L'auteur conclut à une bonne efficacité et une bonne reproductibilité des mesures scanographiques 3D qui ne sont pas affectées par le positionnement de la tête. Cette conclusion semble concordante avec celles des études citées ci-dessus.

Au-delà de la biométrie tomодensitométrique de l'exophtalmie, des critères de mesures normales des structures orbitaires par tomодensitométrie ont été mis en évidence, notamment par **Ozgen et Ariyurek** en 1998 (53). Le propos de leur étude était d'établir des critères pour le diamètre des muscles extra-oculaires, de déterminer la position normale du globe, et de rechercher les effets du sexe et de l'âge sur les structures orbitaires.

Ils ont inclus 100 patients adressés pour scanner sinusien et sains de toute pathologie orbitaire ou endocrinienne. Les patients devaient fermer les yeux durant l'acquisition pour obtenir une

contraction symétrique des muscles extra-oculaires. Des coupes axiales (dans le plan neuro-oculaire) et coronales ont été étudiées. La position du globe est étudiée sur une coupe axiale passant par le plan neuro-oculaire (PNO), les muscles ont été mesurés sur des coupes axiales (diamètre horizontal) et coronales (diamètre vertical) et la largeur du nerf optique a été mesurée sur la coupe axiale passant par le PNO. La fenêtre choisie pour l'étude des muscles a été la même pour tous les patients.

Il est à noter que la position du globe dans l'orbite était évaluée par la mesure du segment entre la ligne inter-zygomatique (dénommée dans notre étude distance bicanthale externe : DBCE) et le pôle postérieur du globe oculaire : la position normale du globe est donc de 9,4 mm en arrière de la ligne inter-zygomatique.

L'analyse des données a permis de mettre en évidence d'une part des critères de normalité de ces mesures dans la population, et d'autre part une influence du sexe et de l'âge sur certains facteurs : le diamètre moyen des muscles et la longueur moyenne du segment inter-zygomatique sont plus élevés chez l'homme, et la largeur des muscles droits inférieur et latéral semblent plus grande chez les sujets âgés. Cependant ni la position du globe oculaire ni la largeur du nerf optique n'a montré de différence statistiquement significative entre hommes et femmes. Il ne semble pas non plus exister de corrélation entre la position du globe oculaire ou la largeur du nerf optique avec l'âge des patients (53).

De même, **Sheikh** a réalisé en 2007 une étude au sujet de la position normale du globe dans l'orbite et des mesures normales des muscles extra-oculaires, montrant des résultats assez similaires. L'utilisation d'un plan coronal pour la détermination de la largeur maximale des muscles extra-oculaires est à privilégier. De plus, une coupe axiale passant par la partie moyenne du globe oculaire et de la ligne inter-zygomatique permet l'analyse de la position du globe. En se basant sur leurs propres données considérées comme normales, les auteurs ont déterminé l'existence d'une asymétrie par un ratio droite-gauche supérieur à 1,4 pour le diamètre des muscles extra-oculaires, ou supérieur à 1,2 pour la position du globe. Un diamètre absolu des muscles extra-oculaires supérieur à 8 mm, ou une position du globe variant de 2 mm entre la droite et la gauche, sont anormaux (54).

Kim et Choi ont étudié en 2001 les valeurs normales d'exophtalmométrie par biométries scanographiques chez les Coréens, avec mise en évidence de référentiels pour guider la prise en charge des pathologies orbitaires plus spécifiquement dans la population coréenne (55).

La biométrie tomodensitométrique un examen-clé fiable et reproductible dans l'évaluation de la pathologie orbitaire, où de nombreuses études ont mis en évidence des critères spécifiques de réalisation et d'interprétation de ces examens et de normalité des mesures.

De plus, de nombreuses études ont été menées afin de rechercher des valeurs-références en pathologie orbitaire en ayant recours à des biométries tomodensitométriques.

Ainsi, la tomodensitométrie permet d'obtenir des mesures fiables des volumes orbitaires pathologiques, comme dans l'orbitopathie dysthyroïdienne (56 et 57) : ainsi, **Forbes** a réalisé 2 études, l'une concernant les mesures de volumes orbitaires normaux par scanographie numérisée, et l'autre à propos des volumes orbitaires pathologiques dans la maladie de Basedow. Il a déterminé les limites supérieures de la normale des volumes des muscles (6,5 cm³), de la graisse orbitaire (14,4 cm³), des tissus mous du globe (20 cm³) et de l'orbite osseuse chez un adulte (30,1 cm³) (56).

Dans l'autre étude, il a étudié les volumes orbitaires chez des patients ayant une maladie de Basedow sans et avec orbitopathie dysthyroïdienne. Des anomalies ont été détectées chez 87% des patients avec une orbitopathie détectable, et chez 70% des patients sans signe clinique orbitaire (57).

Nugent et Rootman ont recherché des corrélations entre tomodensitométrie et examen clinique dans l'orbitopathie dysthyroïdienne, en étudiant rétrospectivement les biométries scanographiques de 71 patients dysthyroïdiens, séparés en 2 groupes en fonction de la présence ou non d'une neuropathie optique associée, et de 20 patients sains. Ils ont ainsi constaté un élargissement des muscles extra-oculaires significatif, en particulier chez les patients ayant une neuropathie optique (58).

Baujat et Krastinova ont étudié la morphologie orbitaire scanographique chez des patients présentant une exophtalmie ou un exorbitisme non syndromique, avec étude dans le plan neuro-oculaire. Ils ont mis en évidence des critères d'évaluation de la position relative du globe oculaire et des structures orbitaires. Notamment, l'angle entre l'axe sagittal et le rebord orbitaire externe, ainsi que la largeur de l'os ethmoïde (distance inter-orbitaire moyenne) sont plus ouverts dans les exorbitismes non syndromiques. Une valeur de l'angle du rebord orbitaire externe supérieure à 42°, et une distance inter-orbitaire moyenne supérieure à 30 mm ont été choisis comme valeurs seuils, avec une sensibilité de 62%, une spécificité de 78%, une

valeur prédictive positive de 80% et une valeur prédictive négative de 86% pour un exorbitisme non syndromique (59).

Il est cependant à noter que l'imagerie par résonance magnétique (IRM) revêt également une grande importance dans l'exploration des pathologies orbitaires, en particulier pour l'étude des structures « molles » et la mesure des volumes des structures oculaires et orbitaires, comme les muscles extra-oculaires. D'autre part, la position du globe oculaire au sein de l'orbite a largement été étudiée par IRM, et corrélée à la clinique.

Detorakis a publié une étude en 2010 concernant l'évaluation de la position du globe dans l'orbite en corrélant la clinique aux images IRM (60). Il a réalisé des IRM (1,5 T) sur une série de 32 patients sans pathologie orbitaire, et mesuré les volumes des structures oculaires et orbitaires et la distance du pôle postérieur du globe par rapport aux autres points de repère orbitaires, en pondération T1, sur des coupes coronales et sagittales.

Il a défini la notion nouvelle de volume orbitaire effectif (« effective orbital volume » : EOV) : il est obtenu par la soustraction du volume du globe oculaire du volume de la cavité orbitaire, afin de permettre une estimation de l'espace disponible dans la cavité orbitaire pour abriter le globe oculaire. L'EOV est corrélé de manière significative au volume orbitaire, à la distance bicanthale externe, alors qu'il est inversement corrélé avec la projection antéro-postérieure du globe oculaire.

L'auteur a ainsi montré qu'il existe une relation linéaire entre l'EOV et la protrusion oculaire. L'EOV peut donc être une nouvelle notion à connaître dans la planification de procédures chirurgicales de traitement de l'exophtalmie ou de l'énophtalmie, d'autant plus qu'il est facile à calculer avec les logiciels d'IRM (60).

Goldberg a étudié en 1999 les relations entre l'œil et l'orbite osseuse en IRM, en corrélant ces données à la clinique (61). Il a ainsi comparé les mesures réalisées chez 79 patients sains de toute pathologie orbitaire sur leurs IRM en coupes axiales et sagittales, à des photographies des patients. Un observateur indépendant a relevé sur les photographies la présence de « scleral show » inférieur et de vallée des larmes. Des corrélations ont été retrouvées entre plusieurs variables :

- la projection de la cornée par rapport au rebord orbitaire inférieur et la projection cornéenne par rapport au rebord latéral

- la projection cornéenne par rapport au rebord orbitaire supérieur et la projection cornéenne par rapport au rebord latéral
- la présence d'un scleral show inférieur et la projection cornéenne par rapport au rebord orbitaire latéral
- la présence d'une vallée des larmes et l'angle de la face antérieure du sinus maxillaire.

Ces données ont montré que des relations anormales entre la position du globe oculaire par rapport à l'orbite osseuse peuvent avoir des conséquences cliniques :

- un scleral show inférieur est en relation avec une protrusion relative du globe, mesurée soit par rapport au rebord orbitaire externe (comme avec les exophtalmomètre de Hertel, Mourits ou Luedde), soit par rapport au rebord inférieur (comme avec l'appareil de Naugle)
- une déformation de la vallée des larmes est corrélée avec une inclinaison du maxillaire (« sloping maxillary face »).

Hesselink a, quant à lui, étudié les données comparées de l'anatomie oculaire, orbitaire et des voies visuelles par tomодensitométrie et IRM (62).

Ozgen, qui avait étudié les valeurs normales des structures orbitaires par scanner, a réalisé une étude du même type concernant l'IRM (63), en évaluant chez 100 patients :

- le diamètre normal des muscles extra-oculaires (droit médial : 3,2-4,9 mm, droit latéral : 2,6-4,8 mm, droit inférieur : 3,7-6 mm, groupe supérieur (droit supérieur et releveur de la paupière supérieure) : 3,1-5,6 mm, oblique supérieur : 2,4-4,1 mm)
- la position normale du globe : le pôle postérieur du globe était de 8,9 mm en arrière de la ligne inter-zygomatique
- le diamètre moyen des muscles était statistiquement plus large chez l'homme que chez la femme.

Cabanis a réalisé une étude en 2008 concernant la biométrie numérisée oculo-orbitaire 3D objective par scanner et IRM, évaluant exophtalmie et énoptalmie (33). L'ensemble des travaux menés par l'auteur depuis 1974 démontrent la fixité d'un plan d'orientation crânio-encéphalique horizontal des voies visuelles, le plan neuro-oculaire ou PNO, chez l'homme et les mammifères, ainsi que la fixité de la biométrie axiale oculo-orbitaire, normale et pathologique, définissant les 3 grades de l'exophtalmie et confirmant l'énoptalmie. Après

confirmation en IRM 3D, l'IRM en haute résolution (3 T) apporte une vision neuve et complémentaire de cette biométrie.

Cette étude confirme que, quelle que soit la qualité des logiciels de traitement d'images, intégrés dans les stations de travail, la qualité de positionnement de la tête dans la machine, scanner RX ou IRM, conditionne la validation de la biométrie oculo-orbitaire recueillie.

Dans notre étude, nous avons privilégié le scanner puisque nous avons étudié essentiellement le rapport entre le globe oculaire et les structures osseuses orbitaires (60), et en particulier les rebords orbitaires latéraux qui ont servi de référence (distance bicanthale externe ou DBCE) pour la mesure de la protrusion oculaire (segment pré-bicanthal externe ou SPBCE).

*** Nous pouvons également discuter ici le choix des exophtalmomètres étudiés.**

Les instruments étudiés ont été choisis de manière arbitraire, en privilégiant une sélection d'appareils très divers mais largement diffusés, afin de pouvoir comparer l'efficacité, à la fois d'un système simple comme la baguette de Luedde, d'un exophtalmomètre à 2 miroirs de type Hertel largement connu et utilisé de façon universelle, ainsi que l'instrument de Mourits, à 1 prisme, de création plus récente, qui a été développé dans le but de diminuer le phénomène d'erreur de parallaxe.

Nous pouvons citer ici une étude menée en 1986 par **Bogren** à propos des variations normales de la position du globe oculaire dans l'orbite (64). Il comparé les mesures d'exophtalmométrie avec l'appareil de Hertel à des photographies de 39 patients, étudiées selon une nouvelle méthode de photoradiographie. Les mesures recensées étaient la distance interpupillaire et la position antéro-postérieure du globe oculaire. Les variations de la position normale du globe ont été évaluées de 1,5 à 2 mm (de 0 à 3,7 mm), alors que la distance interpupillaire a été notée comme très stable. L'auteur conclut à la nécessité d'une variation d'au moins 2 mm dans les valeurs d'exophtalmométrie pour conclure à une variation pathologique, étant donnée la variation physiologique du globe dans l'orbite.

Cependant, nous n'avons pas retrouvé d'autre étude de ce type dans la littérature pouvant affirmer cette conclusion sur un plus large échantillon de population, avec méthode statistique plus précise.

*** Discussion autour du problème des erreurs de parallaxe :**

Les résultats de notre étude sont intéressants car ils vont dans le sens d'une meilleure efficacité des exophtalmomètres à 1 miroir ou 1 prisme, du type de l'appareil de Mourits de notre étude, qui avait été montrée en 2005 par **Vardizer** (19), en comparant entre eux 8 différents types d'exophtalmomètres. En effet, ceux-ci permettent de limiter les erreurs de parallaxe.

Notre étude permet de vérifier cette hypothèse en comparant, non pas seulement des exophtalmomètres entre eux, mais aussi aux mesures tomodynamométriques objectives.

Nous avons démontré ici qu'il semble exister une corrélation significative entre les mesures réalisées par l'appareil de Mourits à 1 prisme et les biométries scanographiques, mais également la corrélation modérée entre la baguette de Luedde et le scanner, ainsi qu'une concordance intermédiaire pour ce qui concerne l'exophtalmomètre de Hertel.

Cependant, aucun de ces instruments ne permet d'annuler toute erreur de parallaxe.

IV-2) Discussion autour des critères de jugements secondaires :

*** En effet, de nombreuses études concernant la recherche de variations inter-observateurs et évaluant la fiabilité et reproductibilité de l'exophtalmométrie ont été réalisées (21, 23 et 65 notamment), retrouvant des résultats variables.**

En 2004, **Mourits** et al ont réalisé une étude évaluant la reproductibilité des mesures d'exophtalmie avec un appareil de type Hertel, de marque ZEISS® (exophtalmomètre Carl Zeiss-Jena), et la distribution des valeurs d'exophtalmie dans la population néerlandaise saine et atteinte d'orbitopathie dysthyroïdienne (65). Deux observateurs ont mesuré les protrusions oculaires de 160 patients, et d'autre part, les effets de l'âge, du sexe et de la pathologie dysthyroïdienne ont été évalués en utilisant les données recueillies chez ces 160 patients plus celles recueillies rétrospectivement dans les dossiers de 393 autres adultes.

La reproductibilité inter-observateurs a été évaluée comme bonne, avec un coefficient de corrélation de Pearson de 0,89. La méthode Bland et Altman permet de retrouver 96% des valeurs d'exophtalmométrie dans les limites d'accord.

Une différence significative a été notée entre les patients atteints d'orbitopathie dysthyroïdienne et les patients sains, ainsi qu'entre hommes et femmes sains ou atteints de la maladie de Basedow. Dans cette étude, il n'a pas été retrouvé d'effet significatif de l'âge sur les mesures.

Ainsi, Mourits conclut à une bonne reproductibilité de l'exophtalmométrie avec cet instrument de type Hertel (Carl Zeiss-Jena®), et à la possibilité de réalisation de mesures d'exophtalmométrie absolue avec ce même appareil, et non seulement à des mesures relatives et comparatives. L'auteur ne suggère pas pour autant l'achat de cet exophtalmomètre, étant donné que d'autres instruments ont aussi fait leurs preuves. Il conclut enfin sur l'idée d'encourager les sociétés internationales de pathologie et chirurgie orbitaires à choisir un instrument à utiliser dans le monde entier afin de rendre les diverses études ultérieures comparables.

Frueh et al ont également réalisé deux études comparatives entre les mesures d'exophtalmométrie dans une population saine et dans une population atteinte d'orbitopathie dysthyroïdienne.

La première permet de retrouver les résultats suivants (66) :

- la mesure d'exophtalmométrie moyenne est plus élevée chez les patients porteurs d'une orbitopathie dysthyroïdienne
- il existe une corrélation moins importante entre les mesures de l'œil droit et de l'œil gauche chez les patients dysthyroïdiens que chez les sujets sains
- l'effet attendu de l'âge et du sexe sur les mesures d'exophtalmométrie ne sont pas retrouvés chez les sujets dysthyroïdiens
- les mesures moyennes d'exophtalmométrie chez les sujets atteints de neuropathie optique ne sont pas significativement plus élevées que chez les sujets dysthyroïdiens sans neuropathie optique.

La seconde recherche étudie les effets positionnels sur les mesures d'exophtalmométrie dans la maladie de Basedow, chez 58 patients dysthyroïdiens, dont la moitié avec restriction des muscles oculo-moteurs, et chez 45 adultes sains (67). Les mesures d'exophtalmométrie ont été réalisées debout et en decubitus dorsal par un seul observateur, chez des patients debout, puis immédiatement après s'être allongés, puis 3 minutes plus tard. Les résultats de l'étude

montrent une augmentation des valeurs d'exophtalmométrie (de 0,4 à 0,8 mm) de la position debout à la position allongée, chez l'ensemble des sujets testés, sans pouvoir différencier ces 3 groupes de patients. Aucune différence significative n'a été notée entre les mesures en position decubitus dorsal immédiat et à 3 minutes.

* **Peu d'études évaluant la reproductibilité intra-observateur sont retrouvées dans la littérature.** Nous pouvons citer l'étude de **Lam et Lam** (8) qui recherche des variations intra- et inter-observateurs pour l'exophtalmométrie avec l'appareil de Hertel. L'étude statistique comporte la réalisation de graphiques de Bland et Altman. Les auteurs retrouvent une bonne reproductibilité intra-observateur (avec une variation de +/- 1 mm).

Dans notre étude, nous avons des résultats concordants à ceux-ci, avec une bonne reproductibilité intra-observateur, pour les 2 observateurs testés, avec l'exophtalmomètre de Hertel, mais aussi avec les 2 autres instruments.

D'autre part, Lam et Lam concluent à une concordance correcte entre les observateurs (+/- 1,6 mm) si les 2 observateurs utilisent la même mesure de distance bicanthale externe, de même que le faisait Mourits dans son étude (65).

Nous pouvons retirer les mêmes conclusions de notre étude. En effet, la reproductibilité intra-observateur de la distance bicanthale externe (DBCE) est bonne à très bonne avec l'exophtalmomètre de Hertel (CCI = 0,94 et 0,85 pour les observateurs 1 et 2), et très bonne pour l'instrument de Mourits (CCI = 0,95 et 0,93 respectivement). Or, nous notons que la reproductibilité intra-observateur des segments pré-bicanthaux externes (SPBCE) est meilleure avec l'exophtalmomètre de Mourits, pour lequel il existe une très bonne reproductibilité de la DBCE. Avec l'appareil de Hertel, la reproductibilité pour les SPBCE est tout de même bonne à très bonne, mais légèrement inférieure à celle de l'exophtalmomètre de Mourits.

* Par ailleurs, nous notons ici qu'il n'existe pas de corrélation entre les **mesures de la distance bicanthale externe** réalisées avec les 2 appareils et la biométrie tomodensitométrique : celle-ci est surévaluée de façon systématique, et non corrélable aux mesures objectives scanographiques, de façon très significative.

Cette même conclusion avait été retenue par Garaffini (43) pour le groupe des enfants de plus de quatre ans.

En effet, un appui cutané est nécessaire à l'appareillage d'exophtalmométrie avec les instruments de Hertel et de Mourits : quelle que soit la pression exercée sur le rebord orbitaire externe par l'observateur, il existe nécessairement une interposition de parties molles, certes variable, mais toujours présente. Il semble donc impossible d'obtenir une DBCE exacte voire approchée tant le coefficient de corrélation intraclasse est faible avec ces instruments.

* D'autre part, l'un des critères de jugement secondaire de notre étude était de **déterminer si l'exophtalmomètre de Mourits, à prisme, était plus exact pour certaines valeurs de mesures** de SPBCE, comme le suggéraient WT Frueh et BR Frueh (4) pour la valeur de 18 mm.

Or, il n'est pas possible de déterminer ceci clairement dans notre étude. Nous avons cependant eu la possibilité de déterminer des tendances à partir des diagrammes de Bland & Altman, en regardant la différence en fonction de la moyenne des valeurs.

Cette étude a permis de mettre en évidence, chez les 2 observateurs, une sous-estimation des valeurs pour les mesures de SPBCE faibles par rapport à la biométrie tomодensitométrique, et une surestimation des valeurs pour les mesures de SPBCE élevées par rapport aux mesures scanographiques. Ces différences sont plus importantes chez l'observateur N°2 que chez l'observateur N°1.

Pour des valeurs autour de 15 à 16 mm, la différence entre mesures cliniques et tomодensitométriques étant plus petite, nous pouvons déduire que l'exophtalmométrie avec l'appareil de Mourits est plus exacte pour ces valeurs.

Nous aurions pu utiliser un test T de Student afin de déterminer si les valeurs entre 17 et 19 mm étaient plus exactes que les autres, ou non. Le test T est une comparaison de moyenne. Il pourrait permettre, dans cette étude, de comparer la moyenne de la différence des mesures faites avec l'exophtalmomètre de Mourits et le scanner entre les patients qui ont une mesure entre 17 et 19mm, et les autres.

Or, dans notre étude, la différence entre les mesures avec l'appareil de Mourits et biométries TDM est en moyenne de -0,494 mm avec un écart-type de 0,86 mm pour le groupe des patients qui ont une mesure entre 17 et 19 mm.

Pour les autres, la moyenne est de -0,682 mm avec un écart-type de 1,999 mm.

Ainsi, pour détecter une différence significative de 0,188 = -0.494 - (-0.682) et une puissance du test de 80%, il aurait fallu 831 patients dans les deux groupes au minimum.

Sachant que la puissance d'un test correspond à la probabilité de rejeter l'hypothèse nulle lorsque l'hypothèse alternative est vraie. Ici l'hypothèse nulle correspond à l'égalité des moyennes et l'hypothèse alternative est que le groupe des 17-19 mm a une différence plus petite que les autres.

Mais nous ne disposons que de 60 patients, dont 11 qui ont une mesure entre 17 et 19mm. Le nombre de sujets dans chaque groupe est donc insuffisant pour réaliser un tel test.

* D'autre part, **nous n'avons cependant pas pu évaluer l'efficacité de l'exophtalmométrie avec l'appareil de Mourits pour des patients énoptalmes** car aucun ne fait partie de notre échantillon de population. De plus, **trop peu de patients exophtalmes** étaient inclus dans ce même échantillon pour tirer des conclusions statistiquement satisfaisantes sur l'efficacité de l'exophtalmométrie pour des valeurs de SPBCE élevées.

Il serait donc intéressant de réaliser ce type d'étude sur un échantillon de patients énoptalmes et exophtalmes, afin de valider l'efficacité de l'exophtalmométrie sur des cas pathologiques rencontrés en pratique clinique, notamment pour l'appareil de Mourits à un miroir.

*** Par ailleurs, étant donnée la large diversité des exophtalmomètres sur le marché, il semble difficile de tous les évaluer objectivement.**

En effet, dès l'apparition de l'exophtalmomètre de Cohn en 1865, de nombreux appareils ont été développés afin d'en améliorer la précision. Dès lors, et jusqu'à nos jours sont ainsi apparus sur le marché, soit de nouveaux types d'exophtalmomètres, soit des modifications de ceux pré-existants.

Nous pouvons citer notamment les appareils de Naugle avec appuis sur les rebords orbitaires supérieur et inférieur(28), celui décrit par Yeatts avec appuis sur le conduit auditif externe (29), l'instrument de Hessemmer « slit lamp exophthalmometer » (68), mais aussi celui décrit par Copeland (69) moins coûteux que l'exophtalmomètre de Hertel et plus exact que celui de Luedde. Cohen a développé, quant à lui, un exophtalmomètre de Luedde modifié illuminé (70). En 1991, Mietz avait modifié l'appareil de Hertel en transformant les rebords concaves de cet instrument en contact avec l'orbite, en un angle droit (71) afin de limiter les erreurs de parallaxe, comme l'avait également décrit Davanger (25).

V) CONCLUSIONS :

Notre étude montre de manière statistiquement significative une **meilleure efficacité des exophthalmomètres à un miroir, de type Mourits**, qui permet d'obtenir une très bonne corrélation des mesures de segment pré-bicanthal externe aux biométries tomodynamométriques chez les 2 observateurs, dans les 2 séries de mesures réalisées.

La **baguette de Luedde ne permet d'obtenir que des résultats modérément concordants** aux résultats scanographiques, lors des 2 séries de mesures chez les 2 observateurs.

L'exophthalmomètre de Hertel à 2 miroirs présente une efficacité intermédiaire, permettant d'obtenir des résultats modérément concordants à plutôt bons, selon les observateurs et les séries de mesures, et globalement meilleurs qu'avec la baguette de Luedde, mais nettement inférieurs à l'exophthalmomètre de Mourits, dans toutes les séries de mesures réalisées.

L'appareil de Luedde sous-estime l'ensemble des valeurs de SPBCE.

L'exophthalmomètre de Hertel surestime globalement les mesures, avec en particulier une *surestimation de valeurs faibles* de SPBCE et une *sous-estimation des valeurs élevées*.

L'appareil de Mourits sous-estime légèrement les valeurs de SPBCE par rapport aux biométries tomodynamométriques.

On ne retrouve **pas de concordance entre mesures cliniques de la distance bicanthale externe avec les exophthalmomètres** de Hertel ni de Mourits, et biométrie tomodynamométrique, notion connue dans la littérature.

L'étude de la reproductibilité intra-observateur permet de mettre en évidence une **bonne fiabilité intra-observateur pour les appareils de Luedde et de Hertel, et très bonne pour l'instrument de Mourits**, chez les 2 observateurs, que ce soit pour la mesure du segment pré-bicanthal externe ou la distance bicanthale externe.

Il existe en outre une **bonne reproductibilité inter-observateurs**, avec des coefficients de corrélation intraclasse croissants de la baguette de Luedde, à l'instrument de Mourits, en passant par l'exophtalmomètre de Hertel.

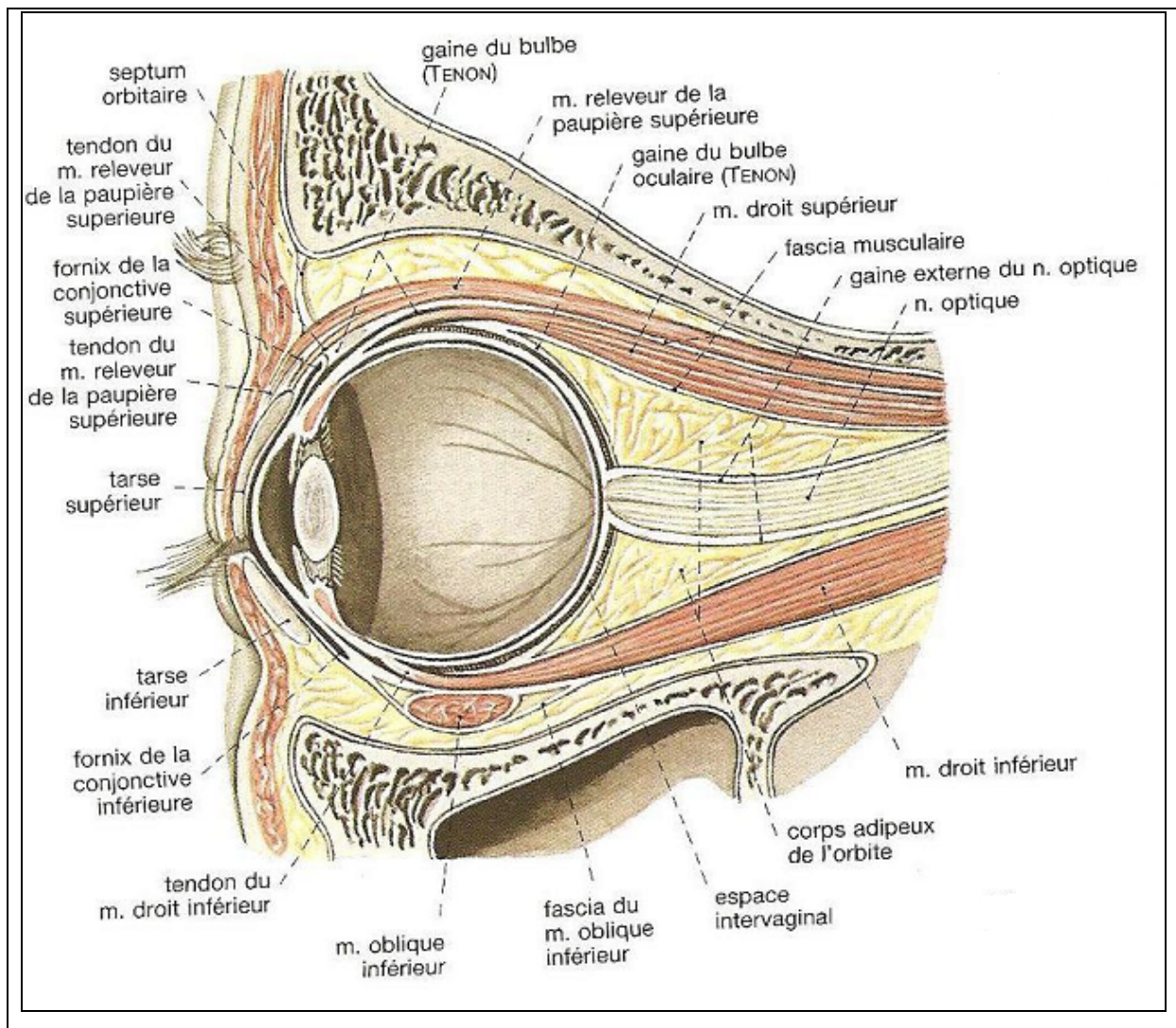
Ainsi, une fois la **technique de mesure bien définie**, de manière préalable aux séries de mesures, celle-ci peut être réitérée correctement par les observateurs, en particulier pour l'exophtalmomètre à un miroir de Mourits.

L'importance d'une **mesure identique de la distance bicanthale externe**, permettant d'obtenir des résultats de segment pré-bicanthal externe exacts, est ici vérifiée.

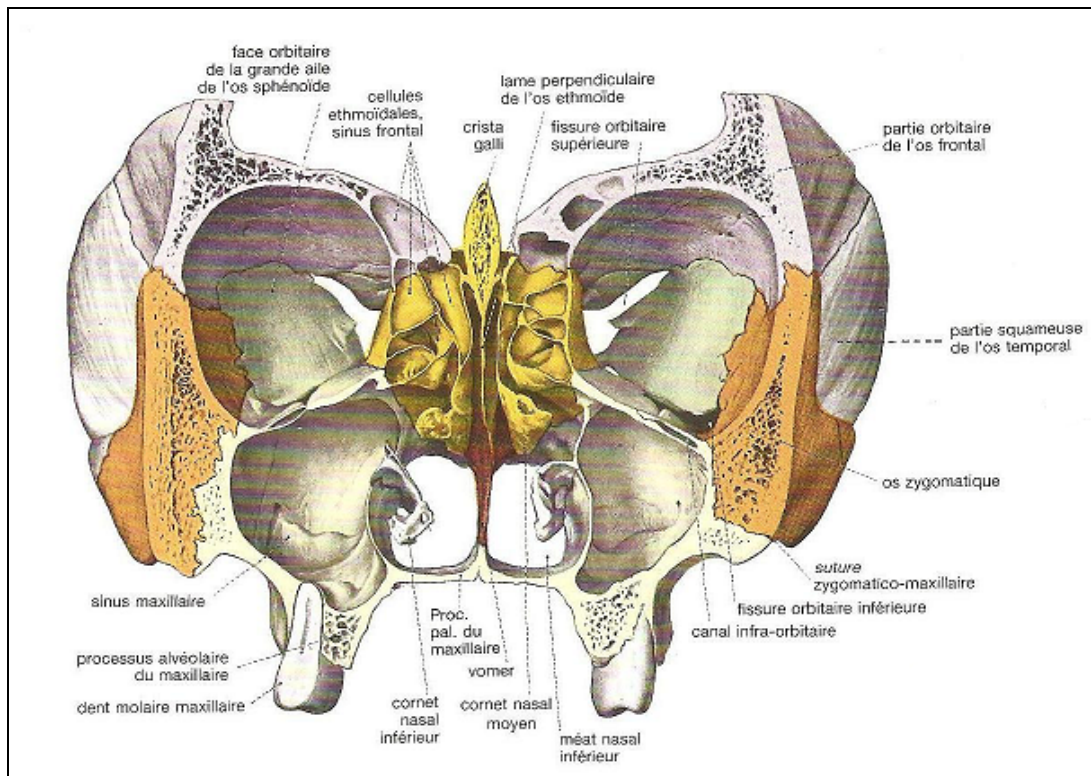
Il serait intéressant de réaliser le même type d'étude sur une population de patients exophtalmes et énoptalmes afin de vérifier ces résultats chez des sujets présentant des valeurs d'exophtalmométries pathologiques.

VI) ANNEXES

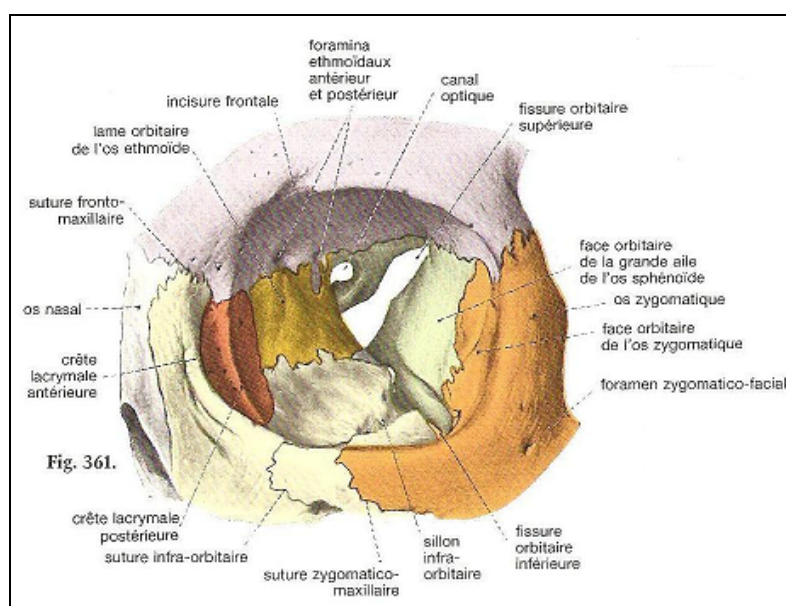
ANNEXE 1 : Coupe sagittale parallèle au nerf optique dans l'orbite, par Sobotta (2)



ANNEXE 2 : Orbite osseuse, par Sobotta (2)

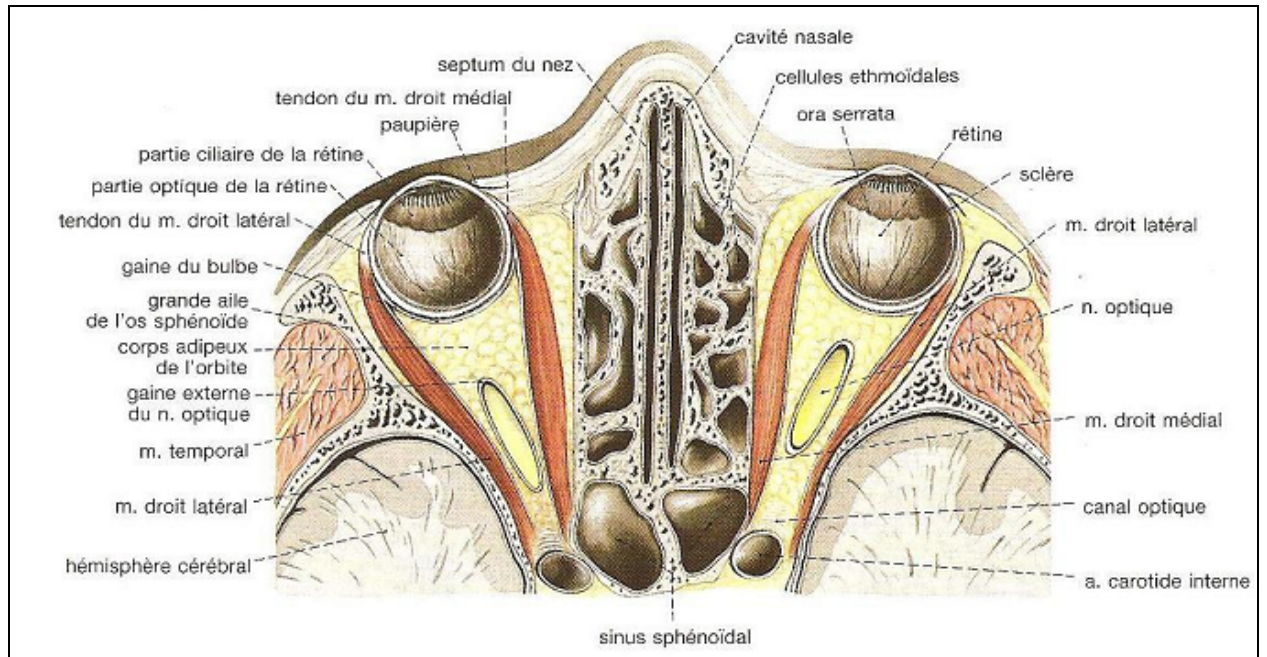


Coupe frontale dans le squelette de la face pour montrer l'agencement des cavités : orbite, cavité nasale osseuse, sinus maxillaire, labyrinthe ethmoïdal, par Sobotta (2)



Vue ventrale de l'orbite gauche, par Sobotta (2)

ANNEXE 3 : Anatomie du plan neuro-orbitaire :



Coupe transversale passant par les orbites et cavités nasales, par Sobotta (2)

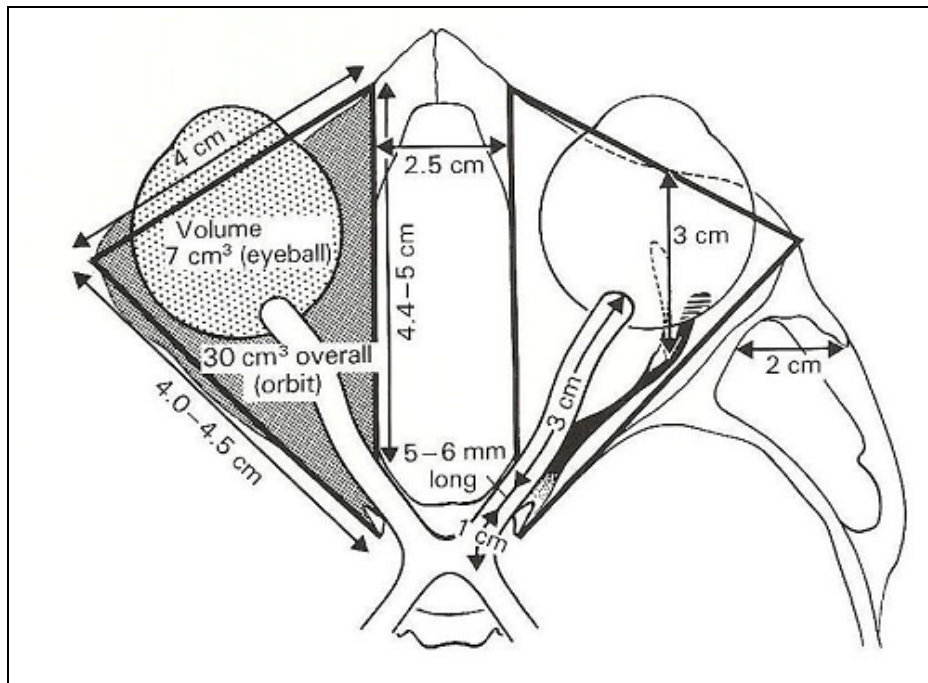


Schéma montrant les principales dimensions et relations oculo-orbitaires, par Rootman (3)

OBSERVATEUR N°1

1^{ère} SERIE DE MESURES

PATIENT N°...

Nom prénom
Date naissance
Age

OD (mm)

OG (mm)

LUEDDE

HERTEL

MOURITS

OBSERVATEUR N°1

2ème SERIE DE MESURES

PATIENT N°...

Nom prénom
Date naissance
Age

OD (mm)

OG (mm)

LUEDDE

HERTEL

MOURITS

OBSERVATEUR N°2

1^{ère} SERIE DE MESURES

PATIENT N°...

Nom prénom
Date naissance
Age

OD (mm)

OG (mm)

LUEDDE

HERTEL

MOURITS

OBSERVATEUR N°2

2^{ème} SERIE DE MESURES

PATIENT N°...

Nom prénom
Date naissance
Age

OD (mm)

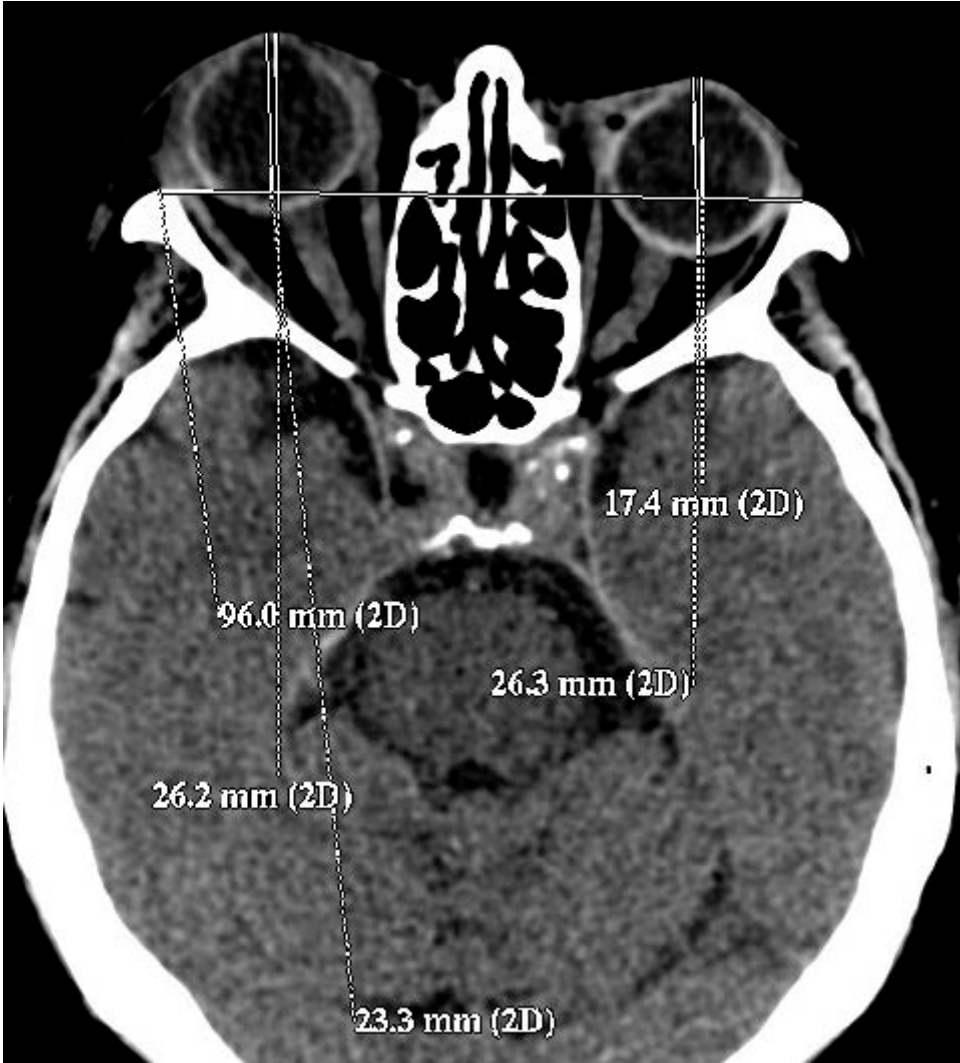
OG (mm)

LUEDDE

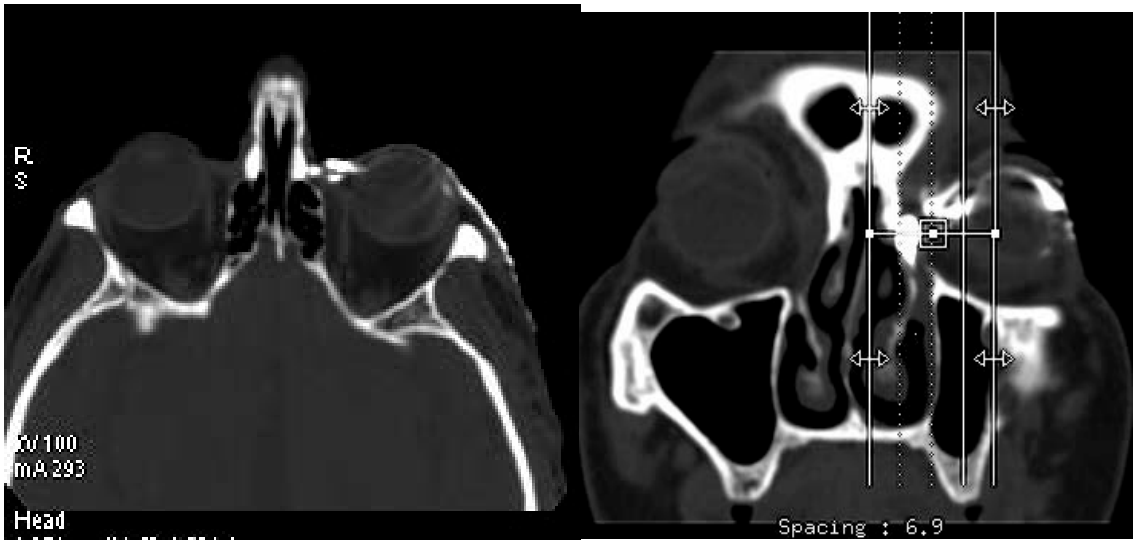
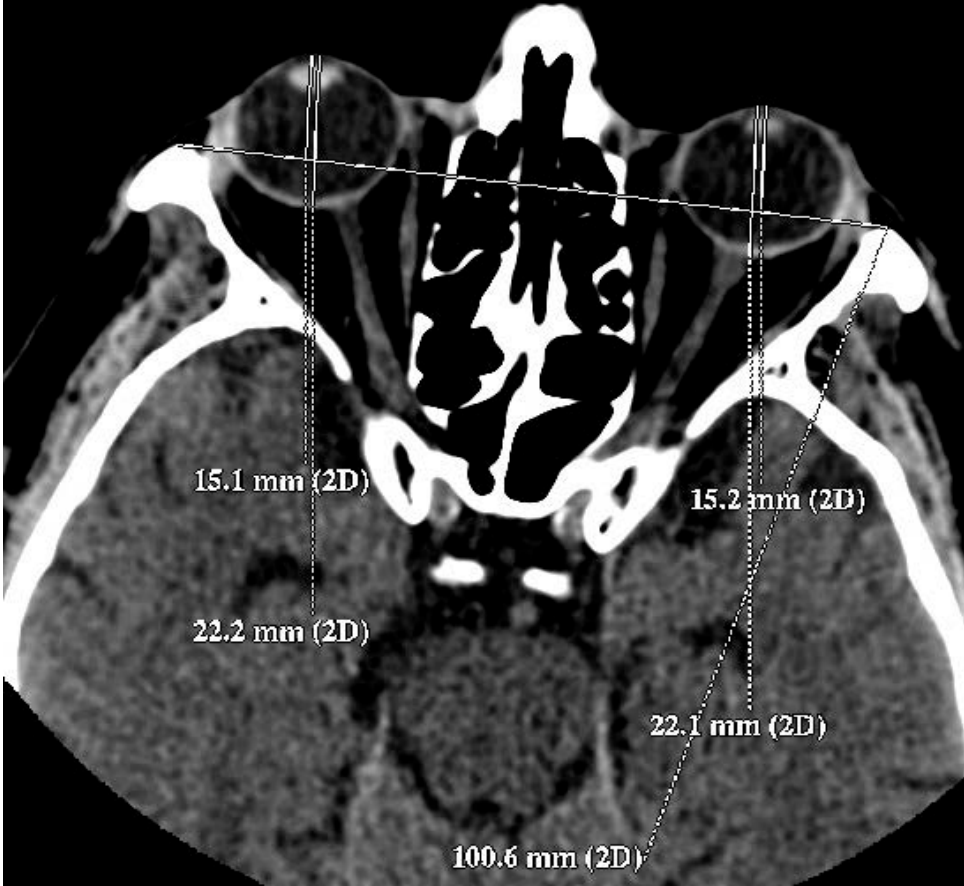
HERTEL

MOURITS

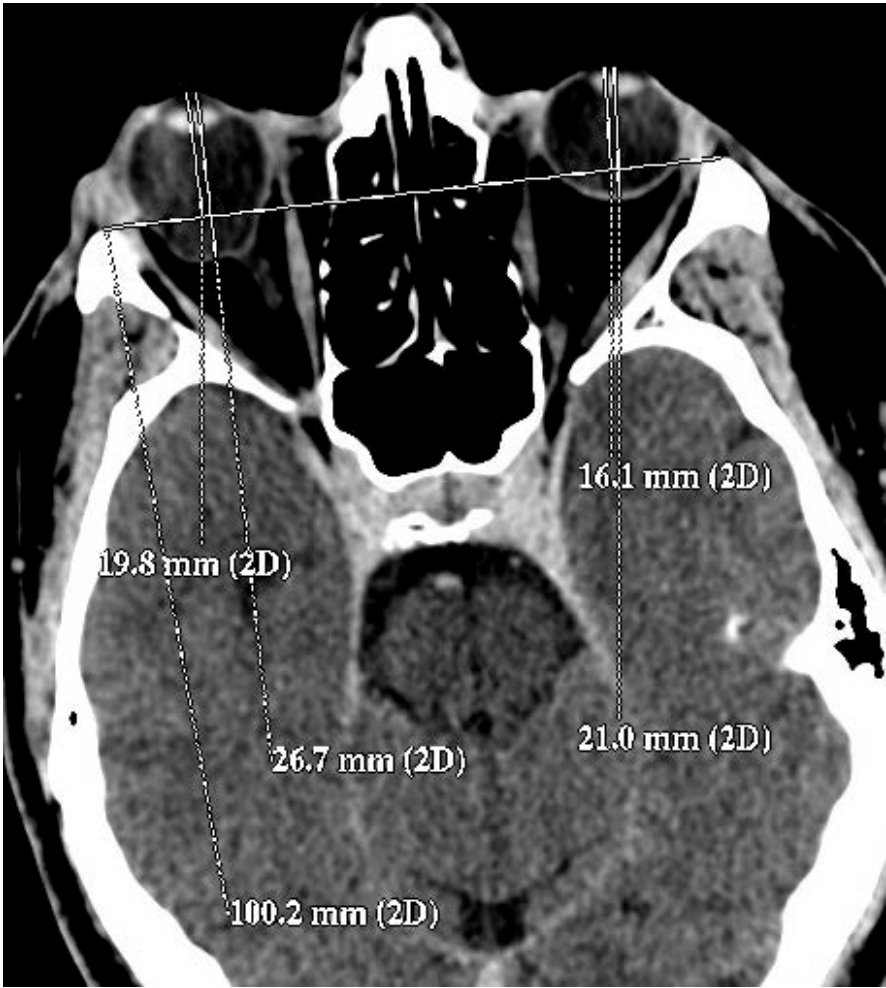
ANNEXE 8 : biométrie tomодensitométrique réalisée sur un scanner orbitaire pratiqué pour suspicion de cellulite orbitaire droite chez une patiente de 76 ans.



ANNEXE 9 : biométrie tomodensitométrique réalisée chez un patient de 84 ans bénéficiant d'un scanner orbitaire avec dacryoscanner pour bilan d'échec d'une dacryocystorhinostomie, et images de dacryoscanner en coupes axiale et coronale



ANNEXE 10 : biométrie tomodensitométrique chez un patient de 57 ans, myope fort unilatéral (œil droit)



VII) REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

- 1- Ducasse A. Anatomie de l'orbite. In : Adenis JP, Morax S, Société Française d'Ophtalmologie. *Pathologie orbito-palpébrale*. Paris : Masson ; 1998 : 38-68
- 2- Sobotta J. *Atlas d'Anatomie Humaine*. 2è Ed française. Vol 1. Paris: Editions Médicales Internationales; 1985: 214-224
- 3- Rootman J. *Diseases of the Orbit*. Philadelphia: JB Lippincott Company; 1988: 3-8
- 4- Frueh WT, Frueh BR. Errors of single-mirror or prism Hertel exophthalmometers and recommendations for minimizing the errors. *Ophthalm Plast Reconstr Surg* 2007; 23: 197-201
- 5- Drews LC. Exophthalmometry. *Am J Ophthalmol* 1957; 43:37-57
- 6- Hertel E. Ein einfaches Exophthalmometer. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 1905; 60: 171
- 7- Chang AA, Bank A, Francis IC, Kappagoda MB. Clinical exophthalmometry: a comparative study of the Luedde and Hertel exophthalmometers. *Aust N Z J Ophthalmol* 1995; 23(4): 315-318
- 8- Lam AK, Lam CF, Leung WK, Hung PK. Intra-observer and inter-observer variation of Hertel exophthalmometry. *Ophthalmic Physiol Opt* 2009; 29(4):472-476
- 9- Migliori ME, Gladstone GJ. Determination of the normal range of exophthalmometric values for black and white adults. *Am J Ophthalmol* 1984; 98: 438-442
- 10- Knudtzon K. On exophthalmometry: the result of 724 measurements with the Hertel exophthalmometer on normal adult individuals. *Acta Psychiatr Neurol Scand* 1949; 24: 523
- 11- Barretto RL, Mathog RH. Orbital measurement in black and white populations. *Laryngoscope* 1999; 109: 1051-1054

- 12- Juan EJr, Hurley DP, Sapira JD. Racial differences in normal values of proptosis. *Arch Intern Med* 1980; 140(9): 1230-1231
- 13- Osuobeni EP, Al Harbi AA. Normal values of ocular protrusion in Saudi Arabian male children. *Optom Vis Sci* 1995; 72(8): 557-564
- 14- Quant JR, Woo GC. Normal values of eye position in the Chinese population of Hong Kong. *Optom Vis Sci* 1992; 69(2): 152-158
- 15- Kashkouli MB, Nojomi M, Parvaresh MM, Sanjari MS, Modarres M, Noorani MM. Normal values of Hertel exophthalmometry in children, teenagers, and adults from Teheran, Iran. *Optom Vis Sci* 2008; 86(10): 1012-1017
- 16- Gupta VP, Sodhi PK, Pandey RM. Normal values for inner intercanthal, interpupillary, and outer intercanthal distances in the Indian population. *Int J Clin Pract* 2003; 57(1): 25-29
- 17- Kaimbo DK, Kayembe D. Orbital measurements in Zairian children. Inner canthal, outer orbital, inter-pupillary distances and proptosis. *J Fr Ophthalmol* 1994; 17(8-9): 496-500
- 18- Beden U, Ozarslan Y, Oztürk HE, Sönmez B, Erkan D, Oge I. Exophthalmometry values of Turkish adult population and the effect of age, sex, refractive status, and hertel base values on Hertel readings. *Eur J Ophthalmol* 2008; 18(2): 165-171
- 19- Vardizer Y, Berendschot TT, Mourits Maarten P. Effect of exophthalmometer design on its accuracy. *Ophthal Plast Reconstr Surg* 2005; 21:427-430
- 20- O'Donnell NP, Virdi M, Kemp EG. Hertel exophthalmometry: the most appropriate measuring technique. *Br J Ophthalmol* 1999; 83: 1097
- 21- Musch DC, Frueh BR, Landis JR. The reliability of Hertel exophthalmometry. Observer variation between physician and lay readers. *Ophthalmology* 1985; 92:1177-80
- 22- Sleep TJ, Manners RM. Interinstrument variability in Hertel-type exophthalmometers. *Ophthal Plast Surg* 2002; 18: 254-7

- 23- Kashkouli MB, Beigi B, Noorani MM, Nojoomi M. Hertel exophthalmometry: reliability and interobserver variation. *Orbit* 2003; 22:239-45
- 24- Ameri H, Fenton S. Comparison of unilateral and simultaneous bilateral measurement of the globe position, using the Hertel exophthalmometer. *Ophthal Plast Surg* 2004; 20: 448-51
- 25- Davanger M. Principles and source of errors in exophthalmometry: a new exophthalmometer. *Acta Ophthalmol* 1970; 48:625-633
- 26- Luedde WH. An improved transparent exophthalmometer. *Am J Ophthalmol* 1935; 21: 426
- 27- Kratky V, Hurwitz JJ. Hertel exophthalmometry without orbital rim contact. *Ophthalmology* 1994; 101: 931-7
- 28- Naugle TC Jr, Couvillion JT. A superior and inferior orbital rim-based exophthalmometer (orbitometer). *Ophthalmic Surg* 1992; 23: 836-7
- 29- Yeatts RP, Van Rens E, Taylor CL. Measurement of globe position in complex orbital fractures. I. A modification of Hertel's exophthalmometer, using the external auditory canal as a reference point. *Ophthal Plast Reconstr Surg* 1992; 8(2): 114-118
- 30- Kohout M, Pai L, Berenguer B, Tayler P, Prachartam N, Mulliken JB. New instrument for orbital anthropometry. *J Craniomaxillofac Surg* 1998 ; 26(3) : 174-178
- 31- Cabanis EA, Haut J, Iba-Zizen MT. Exophthalmométrie tomodensitométrique et biométrie TDM oculo-orbitaire. *Bull Soc Ophtalmol Fr* 1980 ; 1 :63-66
- 32- Cabanis EA, Iba-Zizen MT, Tamraz J, Muzac S. Topométrie oculo-orbitaire. Aspect dynamique normal et pathologique. *Bull Soc Ophtalmol Fr*, Rapport annuel 1982

- 33- Cabanis EA, Iba Zizen MT, Abanou A, Salvolini U and al. Biométrie numérisée oculo-orbitaire 3D objective par Scan RX et IRM évaluant exophtalmie et énophtalmie. *J Fr Ophtalmol* 2008 ; 31 : 46
- 34- Tamraz J, Iba Zizen MT, Atieyh M, Cabanis EA. Atlas d'anatomie céphalique dans le plan neuro-oculaire (PNO) : présentation. *Bull Soc Ophtalmol Fr* 1986 ; 85 : 853-857
- 35- Société Française de Radiologie. *Guide pratique à l'usage des médecins radiologues pour l'évaluation de leurs pratiques professionnelles*. 2009; 352-357
- 36- Brun V, Lafitte F, Héran F, Koskas P, Bergès O, Chiras J, Piekarski JD. Comment explorer une exophtalmie? *J Neuroradiol* 2002; 29: 161-172
- 37- Gibson RD. Measurement of proptosis (exophthalmos) by computerised tomography. *Aus Radiol* 1984; 28:9-11
- 38- Fermanian J. Measurement of agreement between 2 judges. Qualitative cases. *Rev Epidemiol Sante Publique* 1984; 32(2): 140-147
- 39- Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986; 1(8476):307-310
- 40- Fuhrman C, Chouaïd C. Concordance between two variables: numerical approaches (qualitative observations – the kappa coefficient-; quantitative measures). *Rev Mal Respir* 2004; 21(1): 123-125
- 41- Grenier B, Dubreuil M, Journois D. Comparaison de deux méthodes de mesure d'une même grandeur : méthode de Bland et Altman. *Annales françaises d'anesthésie et de réanimation* 2000 ; 19(2) : 128-135
- 42- George JL, Rozot P, Berrod JP. La mesure de l'exophtalmie. Essai de corrélation Hertel-scanographie. *Bull Soc Ophtalmol Fr* 1988; 88 (10): 1129-1132

- 43- Garaffini T, Tabare E, Ihuel F, Gomes H, Reynal C, Ducasse A. Etude comparative Hertel-biométrie tomodensitométrique chez l'enfant de moins de 10 ans. *Bull Soc Ophthalmol Fr* 1993 ; 93 : 1121-1127
- 44- Hauck MJ, Tao JP, Burgett RA. Computed Tomography Exophthalmometry. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging* 2010; 9:1-4
- 45- Segni M, Bartley GB, Garrity JA, Bergstralh EJ, Gorman CA. Comparability of proptosis measurements by different techniques. *Am J Ophthalmol* 2002; 133(6): 813-818
- 46- Nkenke E, Benz M, Maier T, Wiltfang J, Holbach LM, Häusler G, Neukam FW. Relative en- and exophthalmometry in zygomatic fractures comparing optical non-contact, non-ionizing 3D imaging to the Hertel instrument and computed tomography. *J Craniomaxillofac Surg* 2003; 31(6): 362-368
- 47- Nkenke E, Maier T, Benz M, Wiltfang J, Holbach LM, Kramer M, Neukam FW. Hertel exophthalmometry versus computed tomography and optical 3D imaging for the determination of the globe position in zygomatic fractures. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2004; 33(2): 125-133
- 48- Cole HP 3rd, Couvillion JT, Fink AJ, Haik BG, Kasti PR. Exophthalmometry: a comparative study of the Naugle and Hertel instruments. *Ophthal Plast Reconstr Surg* 1997; 13:189-94
- 49- Weaver AA, Loftis KL, Tan JC, Duma SM, Stitzel JD. CT based three-dimensional measurement of orbit and eye anthropometry. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2010; 51(10): 4892-4897
- 50- Moerenhout BA, Gelaude F, Swennen GR, Casselman JW, Van der Sloten J, Mommaerts MY. Accuracy and repeatability of cone-beam computed tomography (CBCT) measurements used in the determination of facial indices in the laboratory setup. *J Craniomaxillofac Surg* 2009; 37(1): 18-23

- 51- Berco M, Rigali PH Jr, Miner RM, DeLuca S, Anderson NK, Will LA. Accuracy and reliability of linear cephalometric measurements from cone-beam computed tomography scans of dry human skull. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 136(1):17-19
- 52- Lagravère MO, Low C, Flores-Mir C, Chung R, Carey JP, Heo G, Major PW. Intraexaminer and interexaminer reliabilities of landmark identification on digitalized lateral cephalograms and formatted 3-dimensional cone-beam computerized tomography images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010; 137(5): 598-604
- 53- Ozgen A, Ariyurek M. Normative measurements of orbital structures using CT. *AJR Am J Roentgenol* 1998; 170(4): 1093-1096
- 54- Sheikh M, Abalkhail S, Doi SA, Al-Shoumer KA. Normal measurements of orbital structures: implications for assessment of Grave's ophthalmopathy. *Australas Radiol* 2007; 51(3): 253-256
- 55- Kim IT, Choi JB. Normal range of exophthalmos values on orbit computerized tomography in Koreans. *Ophthalmologica* 2001; 215(3): 156-162
- 56- Forbes G, Gehring DG, Gorman CA, Brennan MD, Jackson IT. Volume measurements of normal orbital structures by computed tomographic analysis. *AJR Am J Roentgenol* 1985; 145(1): 149-154
- 57- Forbes G, Gorman CA, Brennan MD, Gehring DG, Ilstrup DM, Earnest F 4th. Ophthalmopathy of Grave's disease: computerized volume measurements of the orbital fat and muscle. *AJNR Am J Neuroradiol* 1986; 7(4): 651-656
- 58- Nugent RA, Belkin RI, Neigel JM, Rootman J, Robertson WD, Spinelli J, Graeb DA. Grave's orbitopathy: correlation of CT and clinical findings. *Radiology* 1990; 177(3): 675-682
- 59- Baujat B, Krastinova D, Bach CA, Coquille F, Chabolle F. Orbital morphology in exophthalmos and exorbitism. *Plast Reconstr Surg* 2006; 117(2): 542-550

- 60- Detorakis ET, Drakonaki EE, Papadaki E, Tsilimbaris MK, Pallikaris IG. Evaluation of globe position within the orbit: clinical and imaging correlations. *Br J Ophthalmol* 2010; 94(1): 135-136
- 61- Goldberg RA, Relan A, Hoenig J. Relationship of the eye to the bony orbit, with clinical correlations. *Austr N Z Ophthalmol* 1999; 27(6): 398-403
- 62- Hesselink JR, Karampekios S. Normal computed tomography and magnetic resonance imaging anatomy of the globe, orbit, and visual pathways. *Neuroimaging Clin N Am* 1996; 6(1): 15-27
- 63- Ozgen A, Aydingöz U. Normative measurements of orbital structures using MRI. *J Comput Assist Tomogr* 2000; 24(3): 493-496
- 64- Bogren HG, Franti CE, Wilmouth SS. Normal variations of the position of the eye in the orbit. *Ophthalmology* 1986; 93(8): 1072-1077
- 65- Mourits MP, Lombardo SH, Van der Sluijs FA, Fenton S. Reliability of exophthalmos measurement and the exophthalmometry value distribution in a healthy Dutch population and in Grave's patients. An exploratory study. *Orbit* 2004; 23: 161-8
- 66- Frueh BR, Musch DC, Garber FW. Exophthalmometer readings in patients with Grave's disease. *Ophthalmic Surg* 1986; 17(1): 37-40
- 67- Frueh BR, Garber F, Grill R, Musch DC. Positional effect on exophthalmometer readings in Grave's eye disease. *Arch Ophthalmol* 1985; 103(9): 1355-1356
- 68- Hessemer T, Kolling GH. A new method for measuring exophthalmos. The slit lamp exophthalmometer. *Ophthalmologe* 1994; 91(1): 36-40
- 69- Copeland L, Villareal A, Gwinup G. A new simple exophthalmometer. Comparison with existing instruments. *JAMA* 1976; 235(11): 1134-1136

70- Cohen SW, Rizzuti AB. An illuminated Luedde Exophthalmometer. *Arch Ophthalmol* 1980; 98(4): 747

71- Mietz H, Weber J. A modification for reducing measurement value spread with the Hertel exophthalmometer. *Fortschr Ophthalmol* 1991; 88(3): 291-294

ETUDE COMPARATIVE ENTRE 3 EXOPHTALMOMETRES ET BIOMETRIES TOMODENSITOMETRIQUES

TABLE DES MATIERES

I) INTRODUCTION, GENERALITES :

I-1) Rappels anatomiques	.....	p 25
I-2) Historique	.....	p 28
I-3) Définition de l'exophtalmométrie	.....	p 30
I-4) Mesures considérées comme normales	.....	p 30
I-5) Variations intra-observateur	.....	p 32
I-6) Variations inter-observateurs et techniques de mesures	.....	p 33
I-7) Variations inter-instruments	.....	p 35
I-8) Erreurs de parallaxe	.....	p 40
I-9) Intérêt des exophtalmomètres à un miroir ou à prisme	.....	p 43
I-10) Meilleure fiabilité pour certaines valeurs ?	.....	p 45
I-11) Biométrie tomодensitométrique : définition, méthodes de réalisation	.....	p 47

II) MATERIELS ET METHODES :

II-1) Etude préliminaire	.....	p 52
II-2) Calcul du nombre de sujets nécessaires	.....	p 58
II-3) Type d'étude réalisée	.....	p 58

II-4) Définition de la population étudiée	p 59
II-5) Observateurs et instruments étudiés	p 60
II-6) Techniques de mesures	p 63
II-7) Biométries tomodensitométriques	p 66
II-8) Objectif principal et critère de jugement principal	p 69
II-9) Objectifs secondaires	p 70
II-10) Méthodes d'analyse statistique	p 70

III) RESULTATS

a. Analyse descriptive des variables	p 73
b. Analyse statistique principale	p 76
c. Analyses statistiques secondaires	p 93

IV) DISCUSSION

a. Discussion autour du critère de jugement principal	p 103
b. Discussion autour des critères de jugements secondaires	p 114

V) CONCLUSIONS p 119

VI) ANNEXES 1 à 10 p 121

VII) REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES p 141

VIII) SERMENT D'HIPPOCRATE p 151

IX) RESUME ET ABSTRACT DE L'ETUDE

SERMENT D'HIPPOCRATE

En présence de mes maîtres de cette école, de mes condisciples, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine.

Je dispenserai mes soins sans distinction de race, de religion, d'idéologie ou de situation sociale.

Admis à l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser les crimes.

Je serai reconnaissant envers mes maîtres, et solidaire moralement de mes confrères. Conscient de mes responsabilités envers les patients, je continuerai à perfectionner mon savoir.

Si je remplis ce serment sans l'enfreindre, qu'il me soit donné de jouir de l'estime des hommes et de mes condisciples, si je le viole et que je me parjure, puissé-je avoir un sort contraire.

ETUDE COMPARATIVE ENTRE 3 EXOPHTALMOMETRES ET BIOMETRIES TOMODENSITOMETRIQUES

Juliette DELMAS, Service d'Ophtalmologie du Pr ADENIS, CHU LIMOGES

Mots clés: exophtalmomètre, Hertel, biométries, tomodesitométrie

Introduction: L'exophtalmométrie est sujette à des difficultés de fiabilité et de reproductibilité, notion connue dès la création de ces appareils en 1905 par Hertel.

Matériels et méthodes : Nous avons étudié, de manière prospective, sur une population de 60 patients adultes, les données comparées des mesures de protrusion oculaire avec les exophtalmomètres de Luedde, Hertel à 2 miroirs et Mourits à 1 miroir, avec les biométries tomodesitométriques (TDM). La reproductibilité intra- et inter-observateurs ont été également étudiées. Le calcul des coefficients de corrélation intraclass (CCI) et graphiques de Bland et Altman ont été réalisés.

Résultats : L'étude statistique recherchant le niveau d'accord entre mesures d'exophtalmométrie et biométrie TDM montre, respectivement pour les 2 observateurs, un CCI de 0,59 et 0,64 pour l'appareil de Luedde, un CCI de 0,63 et 0,72 pour l'exophtalmomètre de Hertel et un CCI de 0,94 et 0,87 pour l'exophtalmomètre de Mourits. Les reproductibilités intra- et inter-observateurs sont bonnes pour les 3 exophtalmomètres.

Discussion : Nos résultats semblent s'accorder aux données de la littérature concernant la meilleure efficacité des exophtalmomètres à 1 miroir : elle est ici montrée de manière significative, en comparaison avec les biométries TDM. Les reproductibilités intra- et inter-observateurs sont bonnes, lorsque la technique de mesure est bien définie et répétée.

Conclusion : Notre étude montre de manière statistiquement significative la meilleure efficacité des exophtalmomètres à 1 miroir, type Mourits. La baguette de Luedde ne permet d'obtenir que des résultats modérément concordants. L'exophtalmomètre de Hertel présente une efficacité intermédiaire. Il existe une bonne reproductibilité intra- et inter-observateurs.

COMPARATIVE STUDY BETWEEN THREE EXOPHTHALMOMETERS AND COMPUTED TOMOGRAPHIC SCAN BIOMETRY

Key words: exophthalmometer, Hertel, biometry, CT-scan

Introduction: Accurate and reproducible exophthalmometry is recognized as having a great importance in the clinical setting, but many variations are described within instruments.

Materials and methods: In this prospective study, 3 exophthalmometers (Luedde, 2 mirrors Hertel exophthalmometer, and 1 mirror's Mourits instrument) were compared to tomodesitometric biometry for 60 patients, by 2 observers. Intraobservers and interobservers reliability were also evaluated. Intraclass correlation coefficient (ICC) and Bland and Altman method were used for statistical analysis.

Results: Respectively, for the 2 observers, ICC for Luedde's instrument were 0,59 and 0,64, ICC for Hertel exophthalmometer were 0,63 and 0,72, and ICC for Mourits instrument were 0,94 and 0,87. Agreement for intra- and interobservers reliability was strong.

Discussion: Our results seem to be reliable to the literature: 1 mirror's exophthalmometer is the most reliable to objective tomodesitometric biometry. Intra- and interobservers reliability are good, when the method of measurements is well defined and repeated.

Conclusion: We showed a greater accuracy of 1 mirror's Mourits exophthalmometer. Luedde's instrument has a moderate agreement with CT-scan biometry. Hertel exophthalmometer allow us to have intermediate results. Intra- and interobservers reliability are good.