

CLINIQUE OPHTHALMOLOGIQUE DE L'UNIVERSITÉ DE LIÈGE  
(Professeur R. WEEKERS).

---

## **La déformation du globe oculaire pendant la tonométrie.**

Par MM.

E. PRIJOT et R. WEEKERS

(Liège).

La pose d'un tonomètre de Schiötz sur un sujet couché fait subir au globe des déformations complexes.

a) Par l'intermédiaire du pied cornéen, dont le rayon de courbure est de 15 mm, le poids du tonomètre augmente le rayon de courbure de la cornée;

b) Le piston indente le pôle antérieur de la cornée;

c) Le globe ainsi chargé tend à reculer, sa pression sur la capsule de Tenon et sur les tissus orbitaires augmente. La contre-pression qui en résulte est maximum au pôle postérieur et décroît vers l'équateur. Elle tend donc à accroître le rayon de courbure de l'hémisphère postérieure;

d) Ces déformations antérieure et postérieure s'ajoutent. Elles réduisent le volume endoculaire. La pression intra-oculaire s'élève et atteint ce qu'il est convenu d'appeler *la pression tonométrique*. La sclère se distend d'un volume égal à la somme des déformations antérieure et postérieure. Ces différents phénomènes sont presque instantanés et ne s'accompagnent donc d'aucune sortie de liquide hors du globe.

A partir de ce moment, si le tonomètre est laissé en place, surviennent les modifications qui tendent à réduire la pression tonométrique et à la ramener à la pression oculaire initiale. Ces phénomènes sortent de l'objet de ce travail; ils sont étudiés dans les travaux consacrés à la tonographie.

Friedenwald a publié successivement en 1937, en 1954 et en 1955, trois tables destinées à la mesure des volumes des indentations cornéennes en fonction de l'enfoncement du piston d'un tonomètre de Schiötz.

La table de 1937 est basée sur l'étude géométrique de l'indentation. Elle est entachée d'erreurs considérables par défaut. La table de 1954 a été obtenue en fixant un segment antérieur d'œil sur un pléthysmographe. Les valeurs de la table de 1954 sont beaucoup plus élevées que celles de 1937.

Dans le courant de l'année 1955, différents auteurs se sont aperçus que l'utilisation des tables de pression oculaire, de pression tonométrique et d'indentation cornéenne publiées par Friedenwald en 1954, aboutissaient à des résultats contradictoires en ce qui concerne la rigidité oculaire. Afin de supprimer ces discordances, Friedenwald (1957) a modifié empiriquement ces différentes tables et, en particulier, la table des volumes d'indentation cornéenne. Ces nouvelles valeurs ne sont pas basées sur des mesures directes du volume du liquide déplacé par le tonomètre, elles ont été obtenues par le calcul.

Friedenwald utilise en effet la relation :

$$\log. P_o = \log P_t - KV_c$$

dans laquelle  $P_o$  représente la pression oculaire,  $P_t$  la pression tonométrique,  $K$  la rigidité oculaire et  $V_c$  le volume de l'indentation cornéenne. Il a estimé connues les valeurs de  $P_o$ ,  $P_t$  et  $K$  et a pu calculer ainsi les valeurs de  $V_c$ . Celles-ci ne correspondent donc au volume du liquide déplacé par le tonomètre que si les valeurs  $P_o$ ,  $P_t$  et  $K$  sont correctes.

Or, la valeur choisie par Friedenwald pour  $K$  (0,0215) est vraisemblablement trop élevée. En mesurant directement sur le sujet vivant, la rigidité de l'œil humain en place par injection, nous avons été amené à conclure que la rigidité normale était voisine de 0,0125 (Prijet et Weekers, 1959).

Il en résulte que les valeurs fournies par la table d'indentation de 1955 ne sont pas à l'abri de toute critique. Par contre, la table de 1954 est basée sur des mesures expérimentales. Elle mesure probablement assez exactement la déformation cornéenne pendant la tonométrie. Mais les valeurs qu'elle fournit ne reflète qu'incomplètement le déplacement total du liquide intra-oculaire pendant la tonométrie car les expériences relatées dans notre travail montrent qu'il existe, en plus de l'indentation cornéenne, une déformation du pôle postérieur du globe.

Le présent travail a pour but d'étudier expérimentalement les déformations postérieures du globe et de rechercher le volume total du liquide déplacé pendant la tonométrie. Cette étude est nécessaire aux mesures tonométriques, aux calculs de la résistance à l'écoulement de l'humeur aqueuse par la tonographie et, enfin, à la mesure de la rigidité oculaire.

### Recherches expérimentales.

Nos expériences ont été divisées en deux groupes. Le premier a pour but d'étudier la déformation postérieure en fonction du mode de soutien du globe. La second a pour but de comparer le volume total de liquide déplacé pendant la tonométrie et le volume déplacé par l'indentation cornéenne à des niveaux de pression oculaire différents.

A. — *Étude de la déformation postérieure  
en fonction de mode de soutien du globe.*

1. MATÉRIEL D'ÉTUDE ET TECHNIQUE.

Des recherches préliminaires effectuées sur le porc ont été rapidement abandonnées car l'œil de cet animal a une rigidité beaucoup plus basse que celle de l'œil humain.

Nos recherches portent sur 6 yeux humains normaux, énucléés immédiatement après la mort et utilisés sans délai. Deux aiguilles hypodermiques sont introduites dans la chambre antérieure au niveau du limbe. Une de ces aiguilles est reliée à une ultramicroburette de Dallemagne. Cet instrument permet l'injection rapide d'un très petit volume de liquide exactement mesuré. L'autre aiguille est reliée d'une part à un manomètre électronique dont les données sont enregistrées graphiquement et, d'autre part, à une source de liquide maintenue sous une pression constante et réglable. Ce liquide, qui sert à la perfusion du globe, à la composition suivante : Ringer, 9 parties, solution tampon ph. 7,5, 1 partie  $\left(\frac{M}{15} \text{KH}_2\text{PO}_4, 2 \text{ parties et } \frac{M}{15} \text{NaH}_2\text{PO}_4, 8 \text{ parties}\right)$  (fig. 1).

Le globe est perfusé sous une pression variant de 12 à 15 mm Hg. Il est alors posé successivement sur trois supports de consistance et de surface différentes : 1° une surface molle et concave (1); 2° une surface dure et plane; 3° une surface très étroite et convexe (2) (fig. 2).

La cornée est irriguée pendant toute la durée de l'expérience.

Dans chacune de ces trois conditions expérimentales, on enregistre les modifications de pression provoquées par la pose d'un tonomètre de Schiötz, conforme aux normes américaines, muni successivement des poids de 5,5 et 10 g. Chaque mesure est faite après fermeture du robinet d'arrivée du liquide de perfusion.

Pour des raisons exposées dans la discussion de ces faits expérimentaux, nous avons été amené à remplacer le *coefficient de rigidité* du globe selon

$$\text{Friedenwald } K = \frac{\log. \frac{P_2}{P_1}}{V} \text{ par son inverse que nous dénommons } \textit{coefficient de capacité. } \text{Cap.} = \frac{V}{\log. \frac{P_2}{P_1}}.$$

Dans chacune des conditions expérimentales précédemment décrites, le coefficient de capacité du globe est déterminé en enregistrant la hausse de pression intra-oculaire provoquée par une série d'injections successives de 5 mm<sup>3</sup> chacune.

(1) Extrémité hémisphérique d'un condom.

(2) Extrémité supérieure d'un piston de tonomètre de Schiötz.

La comparaison de la hausse de pression provoquée d'une part, par la pose du tonomètre et d'autre part, par l'injection d'un volume connu de

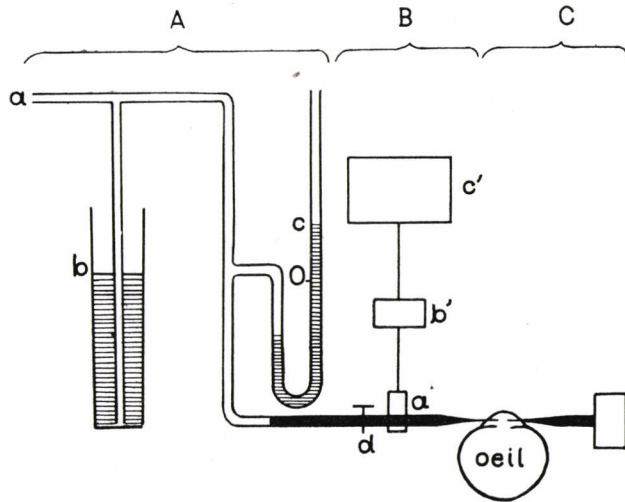


Fig. 1. — Schéma de l'appareillage utilisé.

A. *Système manométrique.* — a : arrivée d'air comprimé sous une pression supérieure à la pression désirée; b : soupape réalisée par l'immersion d'un tube en T dans une colonne d'eau de hauteur connue et réglable; c : manomètre à eau; d : robinet.

B. *Manomètre électronique.* — a' : manomètre électronique; b' : appareil d'alimentation et de contrôle; c' potentiomètre enregistreur.

C. *Ultramicroburette de Dallemagne.*

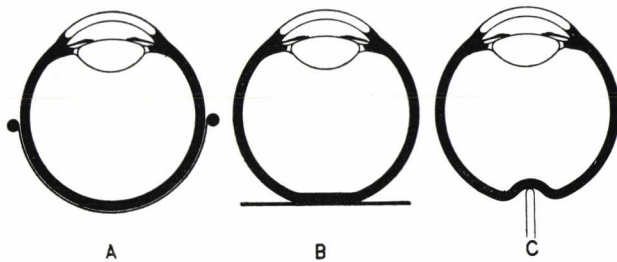


Fig. 2. — Différents modes de soutien du globe.

1. Cupule en latex; 2. Surface plane; 3. Surface étroite et convexe.

liquide, permet le calcul du volume total de liquide déplacé pendant la tonométrie (fig. 3).

Le volume de liquide déplacé par la déformation cornéenne est déterminé au moyen de la table de calibration de Friedenwald (1954).

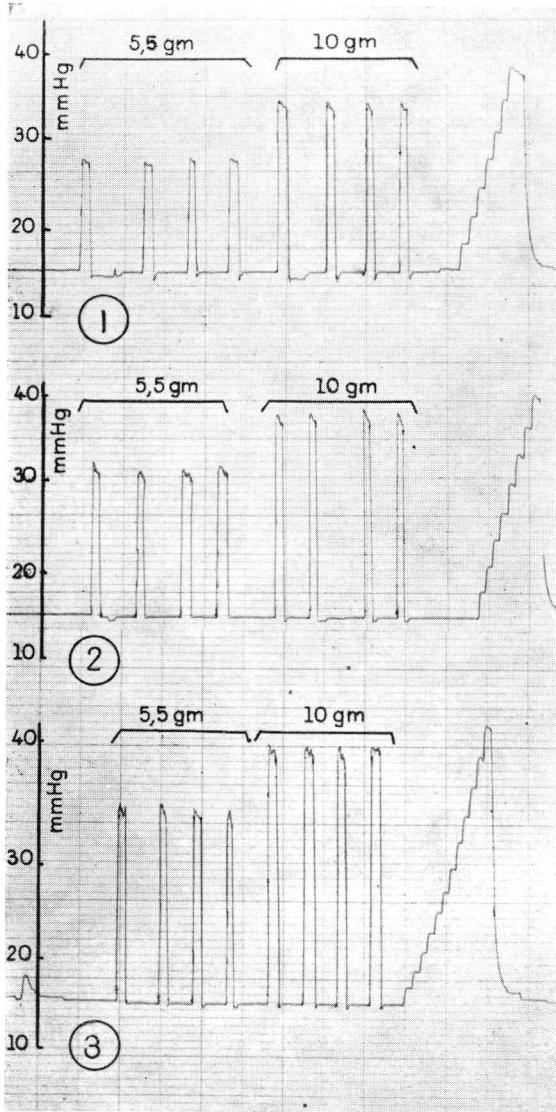


Fig. 3. — Modification de la pression oculaire au moment de la pose du tonomètre muni du poids de 5,5 g, puis du poids de 10 g.

A droite, modification de la pression oculaire par une série d'injections successives de 5 mm<sup>3</sup>

*Protocole 1* : le globe est déposé dans une cupule de latex.

*Protocole 2* : le globe est posé sur une surface plane rigide.

*Protocole 3* : le globe est posé sur une petite surface fortement convexe.

La différence entre le volume total de liquide déplacé et le volume de la déformation cornéenne représente le volume de l'indentation postérieure.

TABEAU I.

*Étude comparative du volume total de liquide déplacé, du volume de l'indentation antérieure et du volume de la déformation postérieure (mm<sup>3</sup>) provoqués par la pose d'un tonomètre de Schiötz muni du poids de 5,5 g.*

*e* représente l'écart type de la moyenne et *n* le nombre de mesures.

MODE DE SOUTIEN	COEFFICIENT DE RIGIDITÉ	COEFFICIENT DE CAPACITÉ	V TOTAL	V ANTÉRIEUR	V POSTÉRIEUR	DÉVIATION DU TONOMÈTRE
Protocole 1. (Capsule de latex.)	0,0148 n = 6	68,2 n = 6	20,65 e = 0,59 n = 24	16,96 e = 0,27 n = 24	3,69 e = 0,41 n = 24	7,03 e = 0,12 n = 24
Protocole 2. (Surface plane.)	0,0149 n = 6	67,4 n = 6	27,47 e = 0,80 n = 24	12,55 e = 0,25 n = 24	14,92 e = 0,65 n = 24	4,83 e = 0,13 n = 24
Protocole 3. (Surface convexe.)	0,0109 n = 6	97,06 n = 6	40,50 e = 1,27 n = 24	10,13 e = 0,17 n = 24	30,42 e = 1,26 n = 24	3,46 e = 0,13 n = 24

TABEAU II.

Étude comparative du volume total de liquide déplacé, du volume de l'indentation antérieure et du volume de la déformation postérieure (mm<sup>3</sup>) provoqués par la pose d'un tonomètre de Schiötz muni du poids de 10 g.

*e* représente l'écart type de la moyenne et *n* le nombre de mesures.

MODE DE SOUTIEN	COEFFICIENT DE RIGIDITÉ	COEFFICIENT DE CAPACITÉ	V TOTAL	V ANTÉRIEUR	V POSTÉRIEUR	DÉVIATION DU TONOMÈTRE
Protocole 1. (Capsule de latex.)	0,0148 <i>n</i> = 6	68,2 <i>n</i> = 6	29,24 <i>e</i> = 0,68 <i>n</i> = 24	19,32 <i>e</i> = 0,64 <i>n</i> = 24	9,51 <i>e</i> = 0,47 <i>n</i> = 24	11,94 <i>e</i> = 0,20 <i>n</i> = 24
Protocole 2. (Surface plane.)	0,0149 <i>n</i> = 6	67,4 <i>n</i> = 6	35,90 <i>e</i> = 0,95 <i>n</i> = 24	15,60 <i>e</i> = 0,30 <i>n</i> = 24	20,30 <i>e</i> = 0,81 <i>n</i> = 24	9,93 <i>e</i> = 0,16 <i>n</i> = 24
Protocole 3. (Surface convexe.)	0,0109 <i>n</i> = 6	97,06 <i>n</i> = 6	50,00 <i>e</i> = 1,42 <i>n</i> = 24	12,36 <i>e</i> = 0,22 <i>n</i> = 24	37,64 <i>e</i> = 1,29 <i>n</i> = 24	7,89 <i>e</i> = 0,13 <i>n</i> = 24

## 2. RÉSULTATS.

La pression atteinte au moment de la pose du tonomètre est d'autant plus élevée que la surface de soutien du globe est plus petite (fig. 3). Le coefficient de capacité est approximativement le même dans les protocoles 1 et 2, mais il est considérablement augmenté dans le protocole numéro 3 (tableaux 1 et 2, p. 830-831).

Dans le protocole 1 (capsule de latex), le volume de la déformation postérieure du globe est beaucoup plus petit que celui de la déformation antérieure. Dans le protocole 2 (surface plane) les indentations antérieure et postérieure sont approximativement de volume égal et dans le protocole numéro 3 (surface convexe), la déformation postérieure du globe est trois fois plus grande que la déformation antérieure (tableaux 1 et 2, voir p. 830-831).

La comparaison des tableaux 1 et 2 montre de plus, que l'importance relative de la déformation postérieure est plus grande avec le poids de 10 g qu'avec le poids de 5,5 g.

### B. — *Étude de l'importance relative des déformations antérieure et postérieure à différents niveaux de la pression oculaire.*

Dans le premier groupe d'expériences, nous avons montré que la valeur relative du volume de liquide déplacé par la déformation postérieure par rapport au volume de l'indentation cornéenne varie avec le mode de soutien de l'œil. Dans cette seconde partie du travail, nous étudions pour un même mode de soutien (protocole 1, capsule de latex) l'influence de la pression oculaire.

#### 1. MATÉRIEL D'ÉTUDE ET TECHNIQUE.

Nos recherches portent sur 10 yeux humains normaux énucléés immédiatement après la mort et utilisés sans délai. Le dispositif de perfusion du globe est le même que celui utilisé pour les expériences mentionnées dans le premier groupe; si ce n'est que les aiguilles sont introduites derrière l'iris dans la chambre postérieure. La perfusion débute à une pression relativement basse. Après quelques minutes, on ferme le robinet reliant le manomètre électronique à la source du liquide de perfusion. On pose le tonomètre de Schiötz muni du poids de 5,5 g. On enregistre la déviation du tonomètre. On enlève le tonomètre et, à l'aide de l'ultramicroburette, on injecte dans le globe un volume de liquide suffisant pour réaliser une élévation de pression identique à celle provoquée quelques instants auparavant par la pose du tonomètre. Le volume du liquide injecté est égal au volume du liquide déplacé par la tonométrie. La perfusion est reprise pendant quelques minutes.

La même expérience est répétée avec le tonomètre muni successivement des poids de 7,5 g, 10 g et 15 g.

La pression du liquide de perfusion est augmentée. On procède ensuite à une nouvelle série de comparaisons des volumes déplacés par le tonomètre



muni de différents poids et des volumes qui, par injection, permettent d'atteindre des pressions tonométriques identiques.

2. RÉSULTATS.

Nos recherches comportent 657 mesures du volume total de liquide déplacé par le tonomètre muni des poids de 5,5, 7,5, 10 et 15 g lorsqu'il est posé sur un œil dont la pression a été ajustée à des niveaux de plus en plus élevés (fig. 4, 5, 6 et 7).

On a calculé la valeur moyenne du volume total du liquide déplacé pour chaque graduation de l'échelle tonométrique. La ligne de régression ainsi obtenue exprime le volume déplacé en fonction de la déviation du tonomètre. Les courbes en traits pleins des figures 8, 9, 10 et 11 sont le résultat de l'interpolation graphique de ces lignes de régression. Les courbes en traits pointillés expriment la valeur du volume de liquide déplacé par l'indentation cornéenne selon Friedenwald (1954). L'écart entre chacune de ces paires de courbes (traits pleins et traits pointillés) représente le volume de liquide déplacé par la déformation postérieure du globe. On voit que, pour un même poids du piston du tonomètre mais quelque soit la pression oculaire, ce volume est égal à un pourcentage constant du volume de l'indentation cornéenne. Pour les poids de 5,5, 7,5, 10 et 15 g, ce pourcentage est respectivement égal à 17, 20, 28 et 30. L'importance relative de la déformation postérieure par rapport à l'indentation de la cornée augmente donc avec le poids du piston du tonomètre mais, pour un même poids, est constante quelle que soit la pression oculaire (tableau 3).

TABLEAU III.

*Rapport du volume total de liquide déplacé ( $V_t$ ) et du volume de l'indentation cornéenne ( $V_a$ ) en fonction du poids du piston du tonomètre (5,5, 7,5, 10 et 15 g) et de la pression intra-oculaire exprimée par la déviation du tonomètre.*

DÉVIATION	R $\frac{V_t}{V_a}$ 5,5 g	R $\frac{V_t}{V_a}$ 7,5 g	R $\frac{V_t}{V_a}$ 10 g	R $\frac{V_t}{V_a}$ 15 g
5 .....	1,17	1,18	1,27	
10 .....	1,19	1,20	1,30	1,30
15 .....	1,16	1,22	1,27	1,32
20 .....				1,28
Moyenne .....	1,17	1,20	1,28	1,30

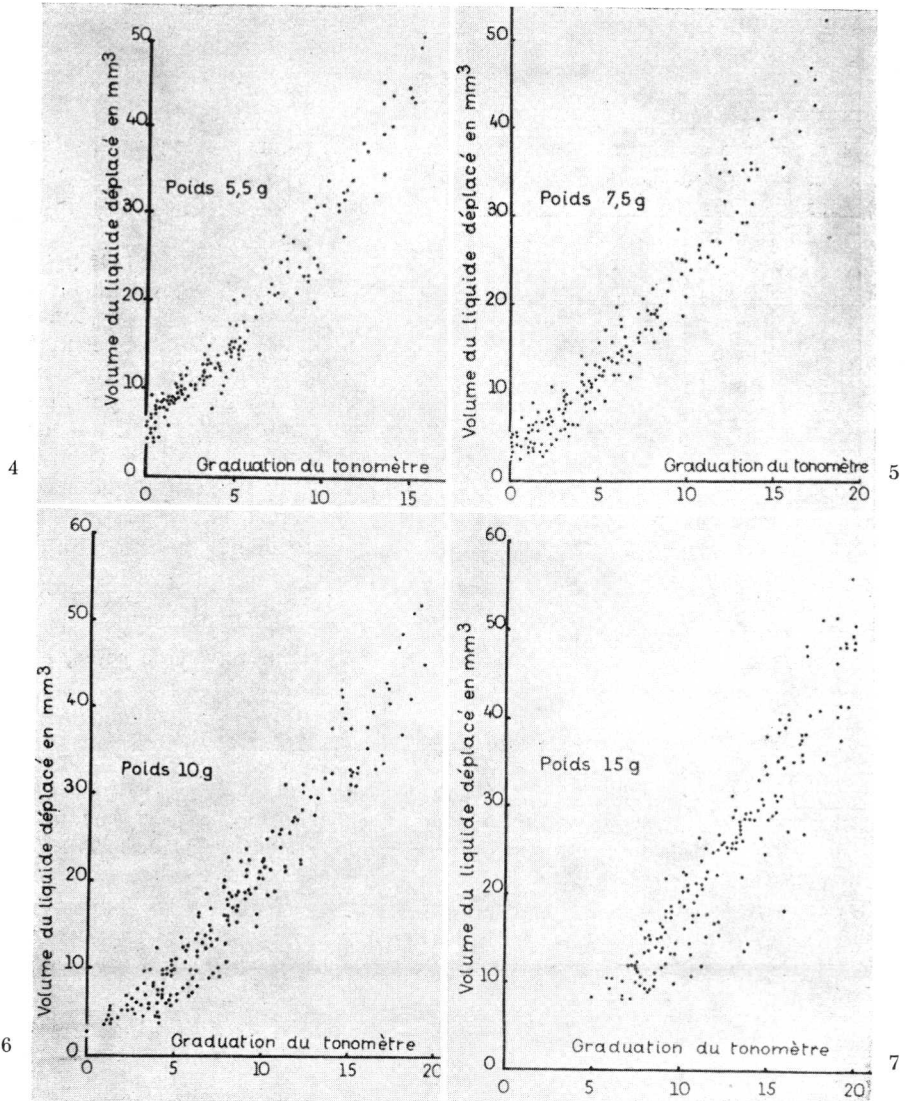


Fig. 4. — Volume total du liquide déplacé par la pose d'un tonomètre de Schiötz muni du poids de 5,5 g sur des globes dont les pressions internes sont ajustées à différents niveaux (10 yeux).

Fig. 5. — Volume total du liquide déplacé par la pose d'un tonomètre de Schiötz muni du poids de 7,5 g sur des globes dont les pressions internes sont ajustées à différents niveaux (10 yeux).

Fig. 6. — Volume total du liquide déplacé par la pose d'un tonomètre de Schiötz muni du poids de 10 g sur des globes dont les pressions internes sont ajustées à différents niveaux (10 yeux).

Fig. 7. — Volume total du liquide déplacé par la pose d'un tonomètre de Schiötz muni du poids de 15 g sur des globes dont les pressions internes sont ajustées à différents niveaux (10 yeux).

### Discussion.

Les faits expérimentaux relatés dans ce travail permettent d'établir les cinq points suivants :

1° *La pose d'un tonomètre de Schiötz sur un globe oculaire provoque une déformation au niveau du pôle postérieur.*

La pose d'un tonomètre sur un globe oculaire provoque, non seulement la formation d'une indentation cornéenne, mais aussi une déformation du pôle postérieur. Celle-ci varie en importance selon les conditions de l'expérience, mais elle n'est jamais absente. De façon systématique, en effet, le volume total déplacé est supérieur au volume de l'indentation cornéenne déterminé expérimentalement par Friedenwald en 1954, en déformant sous la pesée d'un tonomètre le segment antérieur d'un œil fixé sur un pléthysmographe (fig. 8, 9, 10 et 11).

2° *Le volume de la déformation postérieure pendant la tonométrie varie en fonction du mode de soutien du globe.*

La déformation postérieure est d'autant plus petite que la surface sur laquelle repose le globe est plus grande. Elle est minime si le globe repose dans une capsule de latex qui le moule étroitement, elle est plus grande si l'œil est posé sur une surface plane et dure, elle atteint sa valeur maximum si le soutien est constitué par une étroite tige métallique dont l'extrémité est convexe (tableau 1 et 2).

3° *Le calcul de la rigidité du globe doit tenir compte du volume total de liquide déplacé par la tonométrie et non pas seulement du volume de l'indentation cornéenne.*

Quel que soit le mode de contention utilisé dans nos expériences, il apparaît que la pose d'un tonomètre de Schiötz sur un œil provoque une déformation de l'hémisphère postérieur du globe. Il est donc très probable qu'une déformation analogue se produit également dans l'œil humain vivant pendant la tonométrie. Toutefois, aucun des modes de contention que nous avons utilisés ne peut prétendre reproduire exactement les conditions réalisées dans l'orbite normal.

Les protocoles d'expériences 1, 2 et 3 donnent au rapport :

$\frac{\text{indentation antérieure}}{\text{déformation postérieure}}$  des valeurs très différentes. Les protocoles 2 et 3 s'éloignent de façon évidente des conditions réalisées normalement *in vivo*. Le protocole 1 s'en rapproche davantage. Des mesures faites sur l'œil en place de cadavre ne donneraient vraisemblablement pas de renseignements plus précis, car l'abaissement de la température après la mort fige la graisse orbitaire. Il en résulte qu'il n'est pas possible, dans l'état actuel de cette étude de déterminer le volume total de liquide déplacé pendant la tonométrie.

Nous avons montré que les tables d'indentation les plus récentes de Friedenwald sont entachées d'une erreur par défaut. Les mesures de rigi-

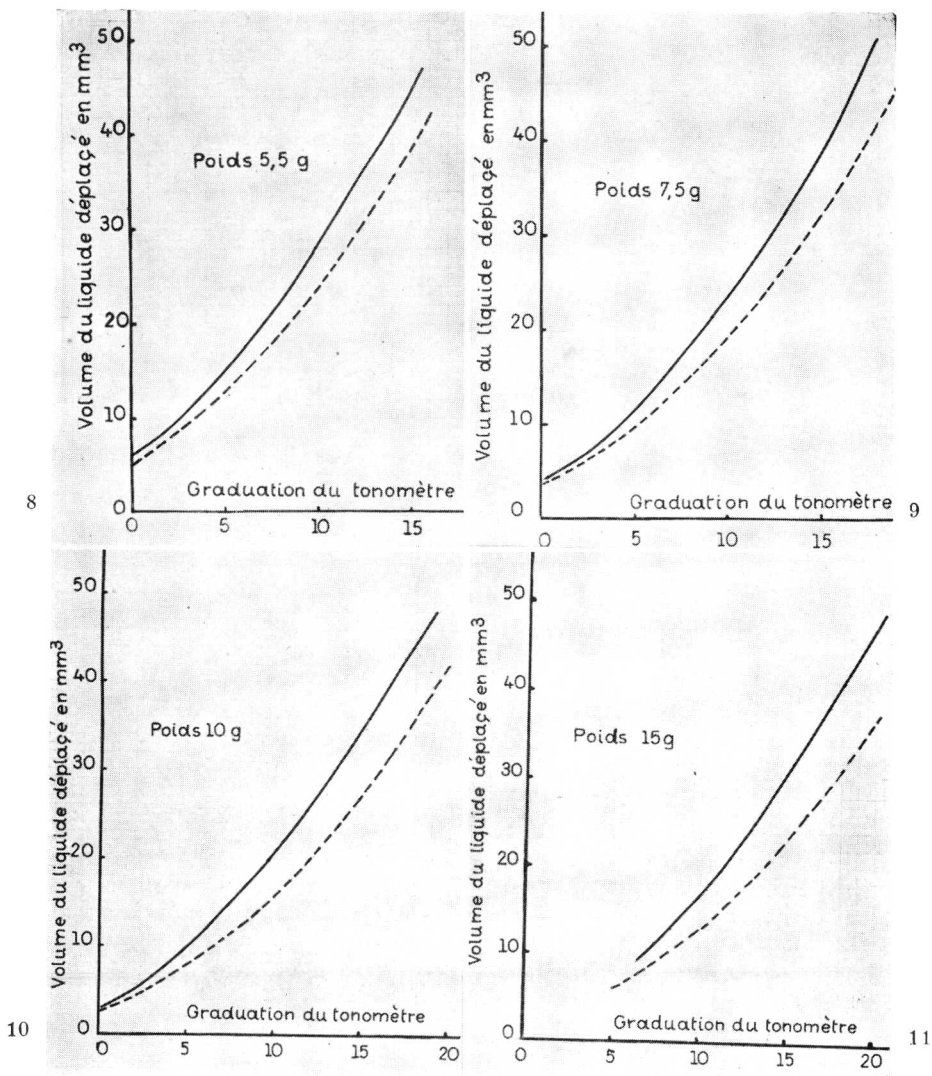


Fig. 8. — En trait plein, le volume total déplacé par la pose d'un tonomètre de Schiötz muni du poids de 5,5 g sur un oeil énucléé posé dans une cupule de latex.

En trait interrompu, le volume de l'indentation cornéenne calculé d'après les tables de Friedenwald, 1954.

La distance entre le trait plein et le trait interrompu permet de mesurer le volume de la déformation postérieure pour chaque graduation dans ces conditions expérimentales.

Fig. 9. — En trait plein, le volume total déplacé par la pose d'un tonomètre de Schiötz muni du poids de 7,5 g sur un oeil énucléé posé dans une cupule de latex.

En trait interrompu, le volume de l'indentation cornéenne calculé d'après les tables de Friedenwald, 1954.

La distance entre le trait plein et le trait interrompu permet de mesurer le volume de la déformation postérieure pour chaque graduation dans ces conditions expérimentales.

dité faites par tonométrie différentielle sont donc entachées d'une erreur par excès, puisqu'elles sous-estiment toutes le volume de la déformation du globe provoqué par la tonométrie. Cette conclusion s'accorde parfaitement avec les résultats des recherches que nous avons effectuées récemment. Nous avons mesuré la rigidité de trois yeux humains normaux, en place, voués à l'énucléation pour tumeur orbitaire, par une méthode directe d'injection intra-oculaire. Ces mesures ont fourni des valeurs plus basses que les mesures faites préalablement par tonométrie différentielle (Prijet et Weekers, 1959).

La discordance entre la mesure de la rigidité par tonométrie différentielle et par injection résulte du fait que la première de ces méthodes sous-estime le volume total du liquide déplacé en ne prenant en considération que le volume de l'indentation cornéenne; elle sur-estime donc considérablement la rigidité de la coque oculaire.

4° *L'importance relative de la déformation postérieure par rapport à l'indentation cornéenne est constante quelle que soit la pression oculaire. Elle augmente, par contre, en fonction du poids du piston du tonomètre.*

Lorsque le globe repose dans une cupule en latex, le volume de l'indentation postérieure représente 17 p. 100 de l'antérieure lorsque le tonomètre est muni du poids de 5,5 g; 20 p. 100 pour le poids de 7,5 g; 28 p. 100 pour le poids de 10 g; 30 p. 100 pour le poids de 15 g. Ces valeurs relatives de l'indentation antérieure et de la déformation postérieure pour un poids déterminé, sont, par contre, constantes quelle que soit la pression intra-oculaire.

Cette loi est importante car elle permet de calculer le volume total de liquide déplacé par un tonomètre appliqué sur un œil vivant même si on ne connaît cette valeur que pour une seule déviation du tonomètre.

La pression oculaire moyenne mesurée au tonomètre par aplanation de Goldmann est 15,5 mm Hg. Pour cette pression un tonomètre standard de Schiötz muni du poids de 5,5 g donne une déviation de 5,5 graduations et une pression tonométrique de 30,07 mm Hg, selon Friedenwald (1957) et de 29,33 mm Hg selon Mc Bain (1957).

D'après nos recherches, la rigidité oculaire moyenne serait 0,0125 (Prijet et Weekers, 1959).

La formule :

$$\text{Log. } P_o = \text{log. } P_t - KV$$

permet donc d'estimer à 22-23 mm<sup>3</sup> le volume total déplacé par la pose

---

Fig. 10. — En trait plein, le volume total déplacé par la pose d'un tonomètre de Schiötz muni du poids de 10 g sur un œil énucléé posé dans une cupule de latex.

En trait interrompu, le volume de l'indentation cornéenne calculé d'après les tables de Friedenwald, 1954.

La distance entre le trait plein et le trait interrompu permet de mesurer le volume de la déformation postérieure pour chaque graduation dans ces conditions expérimentales.

Fig. 11. — En trait plein, le volume total déplacé par la pose d'un tonomètre de Schiötz muni du poids de 15 g sur un œil énucléé posé dans une cupule de latex.

En trait interrompu, le volume de l'indentation cornéenne calculé d'après les tables de Friedenwald, 1954.

La distance entre le trait plein et le trait interrompu permet de mesurer le volume de la déformation postérieure pour chaque graduation dans ces conditions expérimentales.

d'un tonomètre de Schiötz muni du poids de 5,5 lorsque la déviation atteint 5,5 graduations (23,02 mm<sup>3</sup> d'après les tables tonométriques de Friedenwald, 22,16 mm<sup>3</sup> d'après celles de Mc Bain).

Cette estimation dépasse de 60 à 65 p. 100 le volume de l'indentation cornéenne.

Pour connaître le volume total de liquide déplacé pour chaque graduation du tonomètre, il suffit d'augmenter du même pourcentage les différentes valeurs de l'indentation cornéenne.

Un calcul analogue permettrait de calculer le volume de liquide déplacé lorsque le piston du tonomètre pèse 7,5, 10 et 15 g.

*5° Pour étudier la relation entre le volume et la pression d'un globe oculaire, il serait souhaitable de substituer la notion de coefficient de capacité à celle de coefficient de rigidité.*

Les expériences relatées dans ce travail montrent que le coefficient de rigidité de Friedenwald varie en fonction du mode de contention du globe énucléé (tableaux 1 et 2). Ce coefficient ne dépend donc pas seulement des propriétés élastiques de la coque oculaire mais également de la forme de celle-ci. Ce fait nous amène à substituer la notion de coefficient de capacité à celle de coefficient de rigidité. Cette notion ne s'applique pas seulement aux recherches expérimentales relatés ici mais aussi à la tonométrie clinique. Chez le sujet normal debout, la moitié postérieure du globe n'est vraisemblablement pas une hémisphère parfaite car elle est soumise à des forces opposées : traction exercée d'avant en arrière par les muscles droits, résistance de tissus orbitaires qui s'opposent au recul du globe en exerçant une pression d'arrière en avant. Cette déformation augmente vraisemblablement lorsque le sujet est couché car le poids du globe s'ajoute à la traction des muscles. Elle augmente davantage encore au cours de la tonométrie puisque le poids du tonomètre s'ajoute à celui du globe. Lorsque la pression intra-oculaire s'élève, que ce soit sous la pesée d'un tonomètre ou à la suite d'une injection intra-oculaire, le globe subit des modifications de deux ordres différents. Sa forme tend à devenir plus parfaitement sphérique. La sphère est, en effet, la forme géométrique dont la capacité est la plus grande pour une surface extérieure déterminée. L'élévation de la pression intra-oculaire dépend donc, d'une part, de la modification de la forme du globe et, d'autre part, de la distension de la sclérotique. Le coefficient de rigidité proposé par Friedenwald dépend de ces deux facteurs mais le mot rigidité n'est pas heureux et prête à confusion; il tend à faire croire que seule entre en jeu l'extensibilité de la sclère alors que le volume et la forme du globe jouent un rôle important dans la relation volume-pression. Le coefficient de capacité, inverse du coefficient de rigidité, a l'avantage d'exprimer ce double phénomène : les modifications de la forme du globe d'une part, l'accroissement de la distension sclérale d'autre part. A rigidité sclérale égale une injection intra-oculaire augmente d'autant plus l'ophtalmotonus que la forme du globe, au moment de cette injection, est plus proche d'une sphère parfaite. Une déformation considérable du pôle postérieur du globe accroît le coefficient de capacité du globe.

Au cours de recherches récentes, nous avons conclu à l'existence d'une diminution de la rigidité sclérale dans certaines formes d'exophtalmie endo-

crinienne, dans l'exophtalmie thyroïdienne en particulier (Weekers et Lavergne, 1957, 1958). A la lumière des faits exposés dans ce mémoire, nous nous demandons actuellement si cette conclusion est valable et s'il ne s'agit pas d'une déformation excessive du globe par un tissu musculaire anormal, plutôt qu'à une altération réelle de la rigidité de la coque par imbibition aqueuse ainsi que nous l'avons suggéré.

### Perspectives d'avenir.

Nous avons montré que le coefficient de rigidité de l'œil humain vivant (contrairement à celui de l'œil humain énucléé) est constant quelle que soit la pression oculaire (Prijot et Weekers, 1959).

La formule établie par Friedenwald :

$$\log. P_o = \log. P_t - KV (1)$$

demeure donc valable avec cette réserve que V doit représenter le volume total du liquide déplacé par la pose du tonomètre et non pas seulement le volume de l'indentation cornéenne.

Dans l'état actuel de nos recherches qui ne portent encore que sur trois yeux, le coefficient de rigidité du globe humain *in situ* est 0,0125. Étant donné la rareté du matériel utilisable, il serait utile que d'autres auteurs mesurent, comme nous l'avons fait, par injections intra-oculaires, le coefficient de rigidité de l'œil humain en place. Il est possible que ce coefficient varie selon les individus dans d'assez larges proportions.

La pression oculaire correspondant à chaque graduation d'un tonomètre de Schiötz rigoureusement standard peut être étudiée par comparaison des résultats des tonométries par aplanation et par indentation. Cette étude est en cours.

La table de Friedenwald (1957) ou mieux encore, celle de Mc Bain (1957) peut être utilisée pour la détermination de la pression tonométrique.

Il découle de la formule 1 que :

$$V = \frac{\log. P_t - \log. P_o}{K}$$

Il sera donc possible dans un avenir proche d'établir une nouvelle table des volumes totaux de liquide déplacé par la pose du tonomètre de Schiötz.

Cette table est nécessaire pour reprendre l'étude de la résistance à l'écoulement de l'humeur aqueuse par la tonographie.

### Conclusions.

1° La pose d'un tonomètre sur un globe oculaire provoque une déformation au niveau du pôle postérieur;

2° Le volume de la déformation postérieure pendant la tonométrie varie en fonction du mode de soutien du globe;

3° L'importance relative de la déformation postérieure par rapport à l'indentation cornéenne est constante quelle que soit la pression oculaire. Elle augmente, par contre, en fonction du poids du piston.

4° Le calcul de la rigidité du globe par la tonométrie différentielle est entaché d'importantes erreurs par excès s'il sous-estime ou méconnaît la déformation postérieure du globe.

5° La mesure de la rigidité du globe par une méthode d'injection directe permet d'estimer celle-ci à 0,0125.

6° Il serait souhaitable de substituer la notion de coefficient de capacité à celle de coefficient de rigidité.

7° Il sera possible, dans un avenir proche d'établir une nouvelle table des volumes de liquide déplacé pendant la tonométrie tenant compte non seulement de l'indentation cornéenne mais aussi de la déformation postérieure du globe. Ces tables sont indispensables à l'étude de la résistance à l'écoulement de l'humeur aqueuse par la tonographie.

### Bibliographie.

- [1] FRIEDENWALD, J. S. — Contribution to the theory and practice of tonometry. *Amer. J. Ophthalm.*, 1937, **20**, p. 985-1024.
- FRIEDENWALD, J. S. — Calibration of tonometers. Decennial report by the committee on standardisation of tonometers. *Amer. Acad. Ophthalm. and Otolaryng.*, 1954, p. 93-152.
- FRIEDENWALD, J. S. — Tonometer calibration : An attempt to remove discrepancies found in the 1954 calibration scale for Schiötz tonometers. *Tr. Amer. Acad. Ophthalm.*, 1957, **61**, p. 108.
- [2] Mc BAIN, E. H. — Tonometer calibration : Determination of Pt formula by use of strain gauge and recording potentiometer on enucleated normal human eyes. *Arch. Ophthalm.*, 1957, **57**, p. 520.
- [3] PRIJOT, E. et WEEKERS, R. — Contribution à l'étude de la rigidité de l'œil humain normal. *Ophthalmologica*, 1959, **138**, p. 1-9.
- [4] WEEKERS, R. et LAVERGNE, G. — Un nouveau symptôme de l'exophtalmie thyroïdienne : la réduction de la rigidité oculaire. *Ophthalmologica*, 1957, **134**, p. 276.
- WEEKERS, R. et LAVERGNE G. — Changes in ocular rigidity in endocrine exophthalmos. *Brit. J. Ophthalm.*, 1958, **42**, p. 680.