

Chapter II

**RENÉ DESCARTES'
CONTACT TUBE**

INTRODUCTION

(Figure 2 - 1)

The “*Discours septième*” (*Discourse Seventh*) of René Descartes’ “*La Dioptrique*”, (*Optics*), entitled “*Des moyens de perfectionner la vision*” (*On means of perfecting vision*), an essay published as an appendix to *Discours de la Méthode* (*Discourse on the Method*) is often cited as the first description of the principle of corneal neutralization and of a system placed on the eye, comparable to contact lenses.

The “*Discours de la Méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences*” (*Discourse on the method of rightly conducting one's reason and seeking the truth in the sciences*), published in 1637, was followed by three essays: “*La Dioptrique*” (*Optics*), “*Les Météores*” (*Meteorology*) and “*La Géométrique*” (*Geometry*), which were destined to illustrate by practical examples the universal application of the method of reasoning envisaged by *Descartes*. *La Dioptrique* has acquired enormous importance world-wide for its description of the laws of diffraction and refraction, of the problem of the focusing of lenses and according to some authors for the first description of the neutralization of corneal power and even of a contact lens.

In my study, I will try to determine if this last attribution is justified, whether *Descartes* had effectively described, researched or used corneal dioptric neutralization and if he was aware of its significance. I will also discuss arguments, which could allow comparisons of structures described by *Descartes* with contact lens systems.

With this intention I will proceed as follows:

- with a succinct historical retrospective of the evolution of the understanding of optics, anatomy and physiology of the eye in the course of the 16th and of the beginning of the 17th centuries;
- to the analysis of the *Discours Septième* of the *La Dioptrique*;
- to the interpretation of the text under consideration, in the context of Cartesian philosophy;
- to the discussion of the possible and hypothetical connections with contact lens systems.

Then I will try to determine if these texts and diagrams are evidence in favor of a precedence in the description of one or several principles or even of the application of contact lenses.

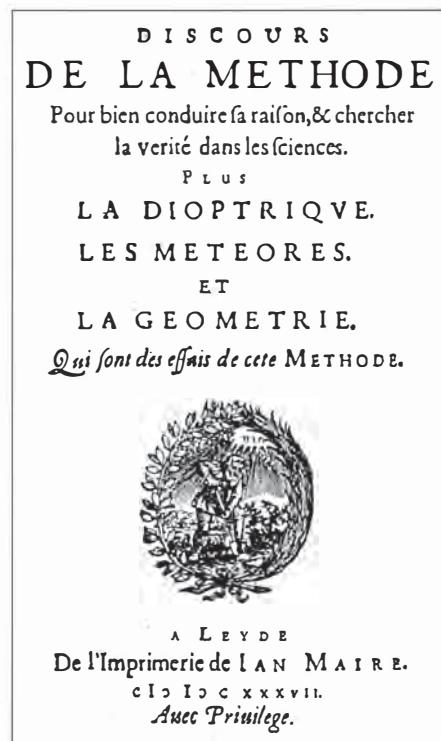


Figure 2 - 1

Frontpiece of the “*Discours de la Méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences*. *Plus la Dioptrique, les Météores et la Géométrie qui sont des essais de cette Méthode*” of René Descartes, first edition printed in 1637 by Ian Maire in Leyden.

(Discourse on the method of rightly conducting one's reason and seeking the truth in the sciences, and in addition Optics, Meteorology and Geometry, which are essays in this Method)

Historical Review

Since the descriptions of *Leonardo*, recalled in the previous chapter, the understanding of the dioptic power of the eye and of optical lenses had advanced considerably, thanks particularly to *Kepler* and to *Scheiner* (1), which were the works on which *Descartes* relied in order to make new progress in his understanding and knowledge.

Kepler

In 1604 and 1610 *Johann Kepler* introduced a new theory of vision, which is still valid in modern times:

- he attributes visual perception to the retina,
- he describes inversion of images on the retina,
- he attributes the best acuity to the center of the retina,
- he confirms that the vitreous acts as support for the retina,
- and that the crystalline lens participates in refraction.

Kepler explained also the effect of concave and convex lenses in ametropia by their focusing on the retina. For the first time the physical act of seeing and the effect of glasses was demonstrated. These experiments were taken up and completed by *Descartes* who established that clear vision was only possible for objects observed whose position corresponded to the precise projection of their image on the retina. Also to the credit of *Kepler* is to have established the rules of dioptrics, which were also adopted by *Descartes*, probably after *Snell van Royen* (*Willebrordus Snellius*), under the form of the laws of diffraction and of refraction.

Scheiner

In 1619, *Christophorus Scheiner*, made a new contribution to the then current knowledge, specifically that of ocular physiology. He demonstrated experimentally that:

- the sclera has a radius of curvature flatter than the cornea,
- the penetration of the optic nerve is nasal with reference to the axis of the globe,
- accommodation is accompanied by an increase in the curvature of the crystalline lens,
- light is the cause of pupillary constriction,
- the pupil decreases its size with accommodation,
- that in looking through two holes pierced in a carton, one sees two images of the same object (*Scheiner's experiment*),
- the inversion of the retinal images, (an experiment repeated by *Descartes* who proved thus)
- that only the images of objects are perceptible whose distance is adapted to the length of the eye.

The discoveries of *Kepler* and *Scheiner* did not however meet with immediate approbation in medical circles or among physicists and philosophers who continued to follow the traditional teaching. *Descartes*, by systematizing, rationalizing, popularizing and disseminating these discoveries, brought them to the knowledge of the curious and to the scientists and philosophers of his time and subsequently, founding thus the basis of objective and rational science.

1. See amongst others Koelbing 1967 & 1971, Lindberg 1976, Daxecker 1992.

1 – SOURCE DOCUMENT

The Discourse Seventh of La Dioptrique: « Des moyens de perfectionner la vision »
(Figure 2 - 2)

The “*Discours septième*” of “*La Dioptrique*” entitled “*Des moyens de perfectionner la vision*” (*On means of perfecting vision*) is 18 pages long in the original edition of 1637. (2)

The Discourses dealt with the structure of the eye, of vision, of ocular physiology and what we would today call “ophthalmic optics”.

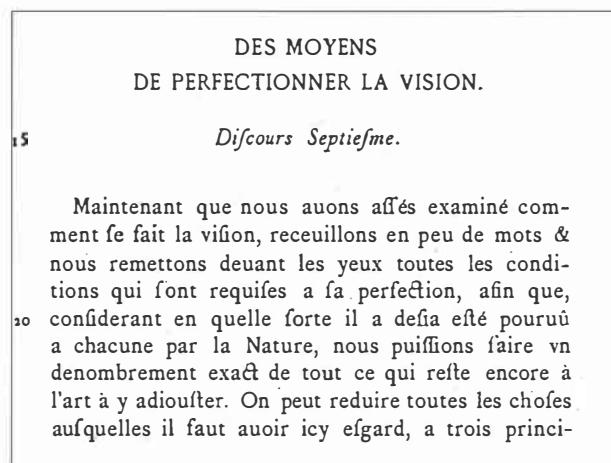


Figure 2 - 2

Descartes, La Dioptrique, Discours septième, "Des moyens de perfectionner la vision".
(Optics, Discourse Seventh, "On means of perfecting vision") according to the 1637 edition, p. 70.

1.1 - THE OBJECT OF REGARD

Descartes announces that he is describing in his Discourses the means to improve the vision and in particular to enlarge the objects of our regard: “*Des moyens de perfectionner la vision*” (*On means of perfecting vision*).

He begins with the **statement** whether the visualization of an object is determined by:

- the *objects* themselves, accessible or not, illuminated or not,
- the *interior organs*: the optic nerve and the brain,
- the *exterior organs*: the transparent parts of the eye and the space between the object and the eye.

He deduces therefore that **perfection** of the visualization of an object would depend on each of the 3 following factors:

- the *object* itself: if it is accessible, by getting nearer or by modifying its illumination; if it is inaccessible no action is possible,
- the *interior organs*: on which no action is possible,
- the *exterior organs*: an action would act by modifying the *progress of the rays*, that is what the *Discourse Seventh* will be dedicated to.

In order to research the mechanism and pathway of the rays of light between the object of regard and the optic nerve, *Descartes* divides these aspects into the following essential elements:

- the rays coming from the same object go to the heads of the two optic nerves, if their course is not deviated in the course of their itinerary,

2. The *Discours septième* (*Discourse Seventh*) is reproduced in original version after this chapter.

- the objects are better seen the larger they are,
- the rays are not perceived unless they are luminous enough to impress the fibers of the optic nerve, but they must not be too luminous so as not to injure them,
- the more objects there are, the more they will be seen.

In regard to the first point above, nature makes several means available:

- the transparency of the ocular media,
- the refraction of the ocular media, that causes the rays of light to converge on the optic nerve head,
- the pupillary motility, that reduces excess of light by regulating the opening of the diaphragm of the pupil, or favors vision at low levels of illumination,
- the blackish tint of the non-transparent parts of the eye, that illuminates non-useful rays of light,
- the relative mobility (flexibility) of the globe, that allows the collection on the optic nerve of rays of light coming from near objects. (3)

The Special Case of the Aged Subject

Vision is imperfect in aged subjects, from which there are two digressions in regard to presbyopia, as follows:

- the first digression, *Descartes* explains (erroneously, as we know) the weakness of vision in aged persons by the fact that young people would have a longer ocular globe. This elongation of the eye would allow near vision by folding and increased curvature of the cornea. However, the aging process would flatten and enlarge the globe that would then no longer allow near vision by becoming shorter.
- the second digression concerns glasses used for near vision by aged persons. *Descartes* emphasizes the difficulties of the fabrication of these and on the closeness, which would risk causing more harm than good.

3. There was an erroneous hypothesis being propagated at this time, that accommodation resulted from a change in the length of the globe and folding within the cornea.

1.2 - WHAT DETERMINES THE HEIGHT OF THE OBJECT?

(Figure 2 - 3)

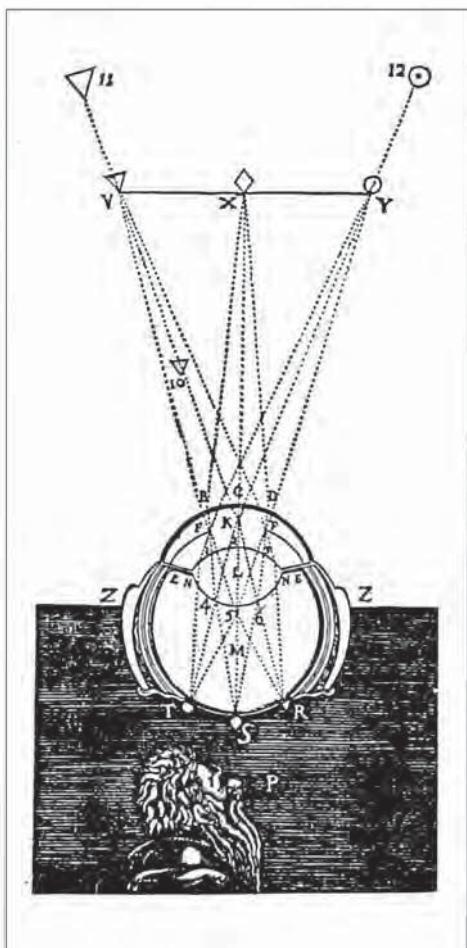


Figure 2 - 3

*Descartes, La Dioptrique, Discours sixième (Optics, Discourse Sixth)
Illustration to which Descartes refers in paragraph 8 of the Discourse Seventh.
The object of regard projected on the retina is seen upside down by the observer
(this experiment was first described and performed in 1619 by Scheiner).*

In returning to his principal subject (the improvement of vision), *Descartes* refers to a figure of the *Discourse Sixth* and lists the three factors that determine the height of the image in the normal eye as follows:

- the distance between the object and the place of the intersection of light rays which it sends to the eye,
- the distance between the location of this intersection of the rays of light and the ocular fundus,
- the refraction of the rays of light.

"For the size of the images, note that it depends solely on three factors, that is the distance which is between the object and the location where the rays of light intersect [...]; then the distance between the same place and the fundus of the eye; and finally the refraction of these rays."

« Pour la grandeur des images, il est à remarquer qu'elle dépend seulement de trois choses, à savoir de la distance qui est entre l'objet et le lieu où se croisent les rayons [...]; puis de celle qui est entre ce même lieu et le fond de l'œil; et enfin de la réfraction de ces rayons. »

1.3 - HOW TO ENLARGE THE RETINAL IMAGE?

Descartes explains that the retinal image would be enlarged in the course of modifying the three factors he cited; however only modification of the refraction would be realizable.

For Near and Accessible Objects

The nearer the objects are, the larger they seem. Interposing a magnifying glass between the eye of the observer and the object can even enlarge the perceived images. *Descartes* explains this enlargement by geometric optics depending on a diagram.

For Inaccessible Objects

For distant and inaccessible objects, improvement of vision is linked to the enlargement of the image projected on the fundus oculi. This enlargement could be obtained by bringing back the crossing of the rays as far as possible from the fundus.

"There only remains one other means of augmenting the size of the images, that is to make the rays that come from various points of the object cross as far as possible from the fundus oculi."

« Il ne reste plus qu'un autre moyen pour augmenter la grandeur des images, qui est faire que les rayons qui viennent de divers points de l'objet se croisent le plus loin qu'il se pourra du fond de l'œil. »

One could lengthen the distance of this crossing from the fundus oculi by lengthening the ocular globe.

1.4 - PRODUCE AN ARTIFICIAL LENGTHENING OF THE EYE BY THE WATER-TUBE

(Figure 2 - 4)

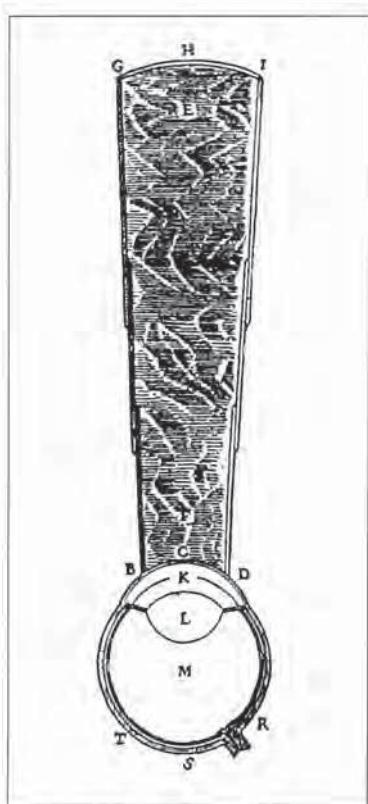


Figure 2 - 4

Descartes, La Dioptrique, Discours septième. (Optics. Discourse Seventh)
p. 79 - First Illustration
First step in Cartesian reasoning.

A tube filled with water is placed against the cornea (BCD); the other extremity is closed by a glass wafer (GHI) having the same curvature as that of the cornea. According to Descartes, the water (EF) contained in the tube, possessing the same index of refraction as the "front liquid of the eye" (the aqueous humor, K) would thus elongate the ocular globe.

Note that, in this diagram, the tube is placed up against the central part of the cornea and that it is composed of three extendable sections. The cornea is enlarged, the crystalline lens is in the anterior position and the iris is curved anteriorly.

To produce this elongation, one could position a tube filled with water up against the eye, that would prolong the ocular media, in particular the aqueous humor, of which the index of refraction is quite similar to that of water:

"The more so because the first of the three liquors that the eye is filled with, causes approximately the same refraction as ordinary water."

« d'autant que la première des trois liqueurs dont l'œil est rempli cause à peu près même réfraction que l'eau commune. »

This glass tube, according to *Descartes*, would be closed at the extremity opposite to the eye by glass with parallel surfaces, of which the curvature would be exactly the same as the curvature of the cornea against which the tube is applied.

My concern is that there may be here a description of corneal neutralization and of a fundamental principle of contact lenses:

In regard to neutralization of corneal dioptric power:

"If one applies against a pipe full of water, like EF, at the end of which there is a glass GHI, of which the shape may be similar to that of the skin BCD which covers this liquid, and is the same distance from the fundus oculi, there will no longer occur any refraction at the entrance of this eye."

« si on applique tout contre un tuyau plein d'eau, comme EF, au bout duquel il y ait un verre GHI, dont la figure soit semblable à celle de la peau BCD qui couvre cette liqueur; et ait même rapport à la distance du fond de l'œil, il ne se fera plus aucune réfraction à l'entrée de cet œil. »

The creation of a new surface of refraction replacing the cornea:

"the refraction which occurred there before will now occur at the entrance of the tube GI."

« la réfraction qui s'y faisait auparavant se fera dès l'entrée du tuyau GI. »

However, contrary to the situation with contact lenses, the structure presented is afocal, which is to say without optical correction. *Descartes* specifies the extremity of the pipe as a glass "of which the shape may be similar" to that of the

cornea. Besides, it combines two lenses and a tube, which has nothing to do with a contact lens and, furthermore, the tube is not placed under the eyelids.

According to *Descartes*, elongation of the ocular globe, and thereby bringing anteriorly the refraction produced by the anterior corneal surface would produce larger images as a result:

"so that these rays, crossing from there, would form an image RST much larger than if they only crossed on the surface BCD."

"si bien que ces rayons, se croisant dès là, formeront une image RST beaucoup plus grande que s'ils ne se croisaient que sur la superficie BCD ."

The longer the tube, the greater the enlargement:

"et ils la formeront de plus en plus grande selon que ce tuyau sera plus long. "

"And they will produce an increasingly larger image according to how much the tube is elongated."

The drawing in the original edition shows an extensible tube, comprising three components sliding inside each other. *Descartes* envisages the possibility of lengthening or shortening the tube and of consequently producing thus different enlargements. In certain posthumous re-editions of the *Discours*, there occur drawings of a one-piece tube, that was at the origin of subsequent erroneous interpretation because it resembled an "*elongated contact lens*" (4). For *Descartes*, the water in the tube would play the same role as aqueous humor, which would lengthen the eye by increasing the length of the tube. The pupil, however would be an embarrassing component because it would reduce the extent of the visual field of the system:

"and so, the water EF performs the function of the humor K; the glass GHI that of the skin BCD; and the entry of the tube GI, that of the pupil; the vision would occur in the same way as if nature had made the eye longer than it is, by that amount depending on the whole length of the tube."

"et ainsi l'eau EF faisant l'office de l'humeur K : le verre GHI celui de la peau BCD; et l'entrée du tuyau GI, celui de la prunelle; la vision se fera en même façon que si la nature aurait fait l'œil plus long qu'il n'est, de toute la longueur de ce tuyau. "

Descartes rejects the objection that the contact tube would have an effect on the refraction of the eye. In order to close the tube, he used a glass cupola with parallel surfaces but no lens ("*this glass being equally thick throughout*"). Thus, he describes deliberately and intentionally an afocal system, which confirms that he did not envisage correcting a refractive error.

4. The diagram of a one-piece tube is found in the re-edition of the works of *Descartes* by Cousin (1824) and after that in numerous English translations of this re-edition. Levene has noted these errors of interpretation due to the differences of the editions of *Discours de la Méthode* for the first time in 1967, but this has not prevented the propagation of erroneous interpretations.

The Tube Filled with Water is Impracticable

It would also be inconvenient to join such a tube and the water it contains in front of the eye:

"Furthermore, it would indeed be very inconvenient to place water right in front of our eye, in the manner I have just explained."

« Or d'autant qu'il y aurait beaucoup d'incommodeité à joindre de l'eau contre notre œil, en la façon que je viens d'expliquer. »

It would evidently have been preferable to close the tube filled with water also at the end facing the eye. This would have avoided the annoying contact of both tube and water with the eye. Besides, one does not know how to measure the corneal curvature or how to make a glass with parallel surfaces of the same curvature as the cornea:

"in the same way, not being able to know precisely the figure of the skin BCD covering it, one would not know how to determine exactly the figure of the glass GHI in order to substitute it in its place."

« et même que, ne pouvant savoir précisément quelle est la figure de la peau BCD qui le couvre, on en saurait déterminer exactement celle du verre GHI pour le substituer à sa place. »

1.5 – THE ALTERNATIVE OF THE FULL TUBE AND THE TELESCOPE

(Figures 2 – 5 & 2 – 6)

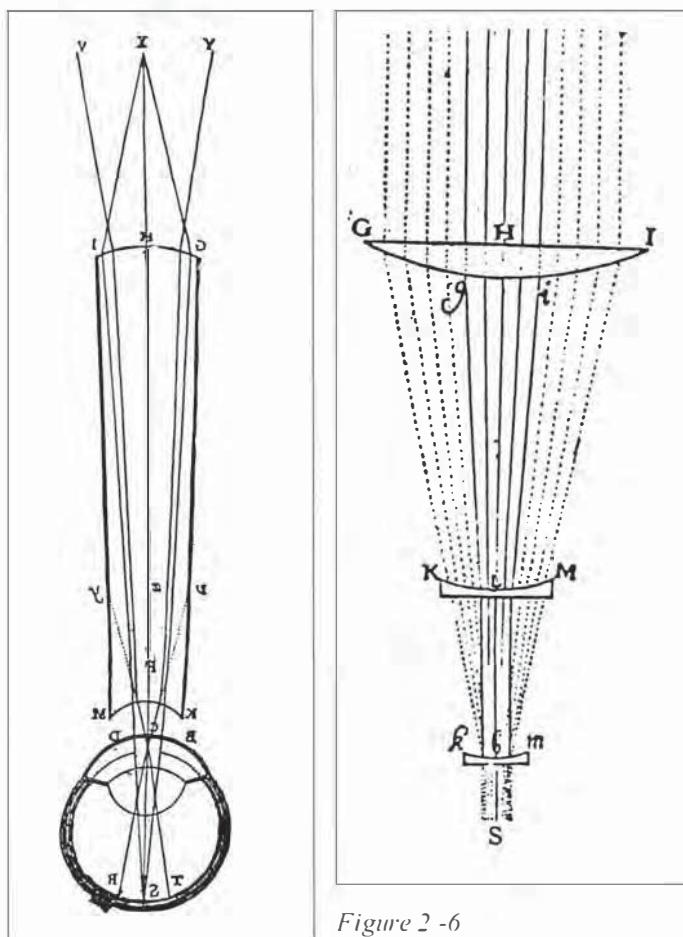


Figure 2 - 6

Figure 2 - 5

Descartes, La Dioptrique, Discours septième, (Optics, Discourse Seventh) p. 82 - Third Illustration - Second and third steps of Cartesian reasoning.

The tube, open at one of its extremities, is replaced by a water-filled closed tube, then by a solid glass tube.

Descartes, La Dioptrique, Discours septième, (Optics, Discourse Seventh) p. 84 - Fourth Illustration. - Final step of Cartesian reasoning.
The tube is replaced by a lens system. This would correspond with the principle of the Galilean Telescope.

Consequently, *Descartes* proposes to replace the water filled tube by a solid glass tube of which the two extremities would have the same curvature. The image formed in the eye would then be larger in proportion to the degree that the glass tube is longer.

Still, because of the difficulties of making such a solid tube of this kind out of glass or other transparent substance, one could leave the tube empty and simply place a "glass" (glass lens) (5) at each end. Thus, *Descartes* describes the principle of the *Galilean telescope*.

"On this point alone is based the entire invention of these field-glasses composed of two glasses placed at both ends of a tube, which have given me the opportunity to write this treatise."

« C'est sur ceci seul qu'est fondée toute l'invention de ces lunettes composées de deux verres mis aux deux bouts d'un tuyau, qui m'ont donné l'occasion d'écrire ce traité. »

5. The term *verre* (glass) is used in the present-day sense of lens in order to indicate the two optical elements placed at the extremities of the tube. It was only at the end of the 17th century that the word *lens* appeared because of the similarity to the word *lentil* (vegetable) designated by the same term. It is the same for the word *focal* ("foyer" in French) which does not yet appear in normal scientific French; *Descartes* uses the expression *point brûlant* ("burning point"), which is translated in the Latin version by *focus*, a term which is also used by *Kepler* (1604).

1.6 – OTHER CONSIDERATIONS

1.6.1 - THE ROLE OF THE PUPIL

The text is followed by the study of the role of the pupil. The eye, as *external organ*, can reduce the size of the pupil in the case of excess illumination. One can assist nature when excessive illumination occurs by adding a supplementary diaphragm or by interposing a tinted transparent object. On the other hand, if the illumination of the observed objects is insufficient, one can increase the illumination or project light on them by means of mirrors.

For field glasses based on the principle of the *Galilean telescope*, the pupil has no function, for the aperture of the objective determines the peripheral field. The lighting obtained varies in inverse proportion to the magnification. For this reason, and in order to obtain sufficient lighting to act on the retina, the aperture of the objective must be as large as possible.

The objective focuses the rays on the ocular, which gives them the parallelism necessary for projection on the retina. An ocular placed directly against the eye should therefore possess a diameter at least equal to that of the pupil and should give an illumination superior to that of an elongated ocular (KLM of figure 2 – 6).

A *Galilean telescope* with an ocular near to the eye does not require any excessively large aperture for the objective. The nearer the ocular is to the pupil, the clearer the vision becomes. These rules apply to inaccessible objects.

1.6.2 - OTHER DETAILS OF THE GALILEAN TELESCOPE

For an accessible object, that can be reached easily and brought closer to the observer, the aperture of the objective does not need to be larger than the pupil. It would also be useful to provide the *Galilean telescope* extremity with a sleeve that would prevent reflections and backlighting. *Descartes* observed also that distance viewing reduced the visual field.

1.6.3 - VISUAL EXERCISES

Finally, *Descartes* explains that one could improve the accommodation and the pupillary motility by visual exercises. (6)

6. That can appear logical if one is a believer in the erroneous theory that accommodation is due to the action of the extrinsic muscles of the eye and presbyopia to folds of the cornea. Even now, some unqualified practitioners make reference to *Descartes* in order to promote eye exercises intended to improve vision.

2. – DISCUSSION

2.1 – CRITICAL ANALYSIS OF THE ELEMENTS OF THE DISCOURSE SEVENTH

An analysis of the *Discourse Seventh* demands that we recall several concepts from the *Cartesian* philosophy and of the optical principles of the instruments described in this discourse. “*La Dioptrique*” is “*An Essay of the Method*” of *Cartesian* reasoning. The *Discourse Seventh* uses the example of the *Galilean* telescope as an illustration.

2.1.1 – THE CONTACT-TUBE, A MODEL OF CARTESIAN REASONING IN FOUR STEPS

(Figure 2 – 7)

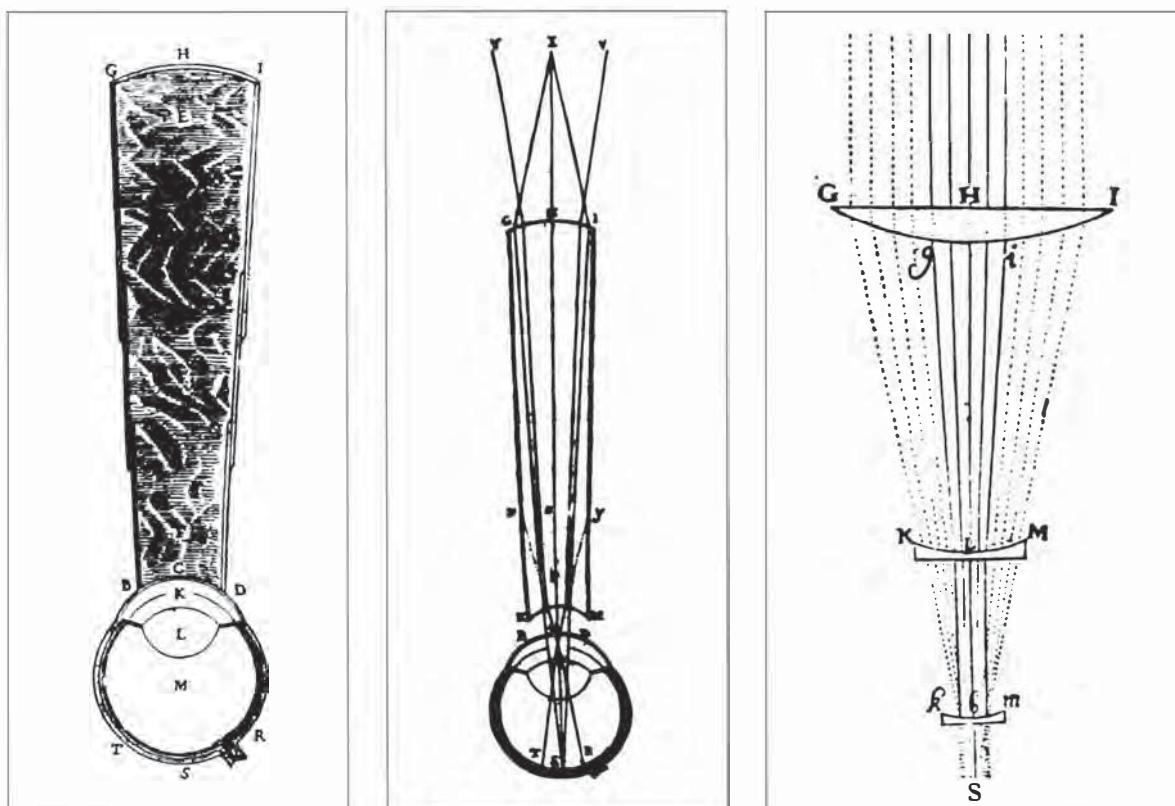


Figure 2 - 7

The steps of Cartesian reasoning

The *Cartesian* reasoning is based on the postulate that lengthening of the globe would enlarge the image projected onto the fundus oculi. As the eye itself could not be extended, Descartes imagines an elongation of the transparent media in four steps:

- In the first step (left side schema) the elongation of the eye could be obtained by the application of a water-filled tube against the cornea. This contact would not be tolerated by the eye.
- In the second step, (middle schema) he proposes to eliminate contact with the eye by closing the water-filled tube with a glass plate cut to match the corneal curvature
- In the third step, (middle schema) he substitutes a solid glass tube for the water-filled tube.
- In the final step, (right side schema) a tube fitted with optical lenses at its two extremities replaces the solid glass tube, and this instrument would, according to Descartes, constitute a Galilean telescope.

The *Discourse Seventh of Descartes' Optics* and its illustrations constitute an example of Cartesian reasoning based on the **postulate** that lengthening of the globe would enlarge the image projected onto the fundus oculi. As the eye itself could not be extended, *Descartes* imagines an elongation of the transparent media in four steps:

- a) In the **first step** the elongation could be obtained by the application of a water-filled tube against the cornea. *Descartes* himself objects to this postulate, to the effect:
 - that this contact would not be tolerated by the eye,
 - that the curvature of the cornea is not measurable and that, therefore, it would not be possible to measure and fit a glass plate of the same curvature for the distal extremity of the tube.
- b) In the **second step**, he proposes to eliminate contact with the eye by closing the water-filled tube with a glass plate cut to match the corneal curvature.
- c) In the **third step** of his reasoning, he substitutes a solid glass tube for the water-filled tube.
- d) In the **final step**, a tube fitted with optical lenses at its two extremities replaces the solid glass tube, and this instrument would, according to *Descartes*, constitute a *Galilean* telescope.

The text comprises a series of quasi-mathematical items of reasoning, with observations divided additionally into necessary sub-groups, and analyzed one after the other. This makes the text somewhat unwieldy and complicated. In spite of that, and starting with these analyses, *Descartes* composes, by a series of successive items of reasoning, an optical equivalent of elongation of the globe or, in fact, a structure comparable to that of the *Galilean* telescopes.

The reasoning leading to this description of the principle of the *Galilean* telescope is a typical illustration of *Cartesian* reasoning:

- *the analysis and break-down of the observed facts i.e.* the size of the images is a function of the distance between the location of the crossing of the rays and the optic nerve,
- *the logical deduction from these observations i.e.* the enlargement of this distance must result in enlargement of the images and to achieve that, the need to lengthen the globe,
- *the proposal of implementation i.e.* the apposition against the eye of a medium has the same properties as the ocular media in elongating the axis of the globe,
- *the solution to the difficulties encountered i.e.* the water-filled tube in contact with the eye is inconvenient and impracticable and therefore a solid glass tube will replace it. This however is too difficult to manufacture, and will therefore be replaced by two lenses fixed to the extremities of the tube, thus forming the optical system of the *Galilean* telescope.

2.1.2 – CRITICAL ANALYSIS OF DESCARTES' DEMONSTRATION

In his demonstration and explanation of the *Galilean* telescope, *Descartes* presents one after the other, three structures designed to improve vision:

- 1.) a water-filled tube applied against the eye,
- 2.) a solid tube (water-filled, then glass-filled),
- 3.) a hollow tube with two lenses at its extremities.

A – THE WATER-FILLED TUBE APPLIED AGAINST THE EYE

The water-filled tube applied against the eye represents a system that is as inconvenient as it is impracticable. It has to be inconvenient to apply a tube of this length against the eye, fill it with water, and keep it in place. In fact, it is indeed impossible in practice, as *Descartes* himself emphasizes.

- **It does not allow clear vision.** In addition, the system of contact, as described, does not give the expected result. If the lengthening of the globe enlarges the retinal image, the image is blurred and imprecise and is not perceptible by the retina for an object of regard placed at a useful distance. Lengthening of the globe produces an effect similar to that of an extremely severe uncorrected myopia.

- **It is afocal.** *Descartes* describes a system where the “glass” closing the tube has parallel surfaces. This demonstrates well that he was not researching any refractive effect.

- **The drawing does not correspond with the text.** In the drawing, the glass placed at the extremity of the tube does not have the curvature described in the text, i.e. that of the cornea, but it is distinctly flatter. According to the drawing, the structure would combine a divergent with a convergent lens.

- **The drawing is not correctly proportioned.** The assessment of the different elements of the drawing shows many inconsistencies. Knowing that the normal corneal diameter is between 11 and 12 mm, the part of the tube applied against the cornea would be 7 to 8 mm in diameter, the glass at the end of the tube 14 mm and the length of the tube 47 mm. These numbers must, however, be interpreted with great reservation, because the corneal diameter in the diagram is abnormally large with reference to the total diameter of the ocular globe. These measurements also confirm the differences of the radii of curvature of the components at the ends of the tube: a radius of 12 mm for the cornea and of 55 mm for the glass closing the tube.

The drawing shows also a system, which brings together concave and convex refractive surfaces of refraction and not an afocal, optically neutral, structure, as described in the text.

B - THE WATER-FILLED TUBE CLOSED AT BOTH EXTREMITIES

The closed tube system breaks down essentially into three components: the concave glass directed against the eye, the convex glass at the extremity of the tube and the water-filled tube in between. According to the text, the concave glass would be cut to match the corneal curvature and the convex glass would have the same curvature. According to the diagram, on the other hand, the convexity of the distal glass would be appreciably flatter. *Descartes* does not indicate what length he assigns to the tube.

C – THE TELESCOPIC CONE

The solid glass tube is often considered as the precursor of magnification systems described as *telescopic cone* or *Steinheil's cone* (7), consisting of a glass cone having back and front surfaces respectively convex and concave. The proposed transparent cone can be submitted to the same criticisms as the tube applied against the eye. The explanation of the passage of

7. Named thus after Steinheil its German manufacturer.

rays inside this tube is erroneous, as was proved by *Huygens* after 1653.

Huygens' Criticism of Descartes' Cone

Huygens devotes *Proposition XI* of his *Treatise on refraction and telescopes* to the theoretical explanation of the enlarging properties of the glass cone (8). He also submits *Descartes'* interpretations to ferocious criticism:

"Meanwhile, my conclusions are not in agreement with the theory by which Descartes tries to explain the invention of the telescope when he invited us to consider a solid tubular body of this conformation. This is because he wishes that the concave surface be such that it causes the rays coming from various points of the object to change their direction after they have crossed the exterior surface of the tubular structure, and that this directs these towards the eye in such a way that they seem to come from points situated at a closer distance. And he maintains that the relationship of the distance of these nearer points to the distance of the object itself is equal to the relationship between the apparent sizes to that perceived by the naked eye. [...]."

"Hisce vero nequaquam consentiunt ea quibus Cartesius Telescopij inventum explicare contendit, similem huic tubum proponens solidum. Vult enim cavam superficiem ejusmodi esse ut radios à singulis visibilium punctis procedentes et per superficiem tubi exteriorem transmissos, ira infectat ac ad oculum mittat tanquam si a propioribus punctis advenirent. Et quam rationem habuerit distantia horum punctorum propinquiorum ad distantiam ipsius visibilis eandem magnitudinis apparentis ad eam quae solis oculis perciperetur definit. [...]."

There is further this absurdity in the explanation of Descartes: he states that all the objects are seen enlarged because the rays coming from various points of these objects cross at the convex exterior surface of the tubular structure, whereas, if this body had a flat or a concave surface instead of a convex surface, there would be there nevertheless a similar crossing of the rays. Thus, all the objects would also be seen to be enlarged when the tube was turned back to front. But, that is in contradiction to what was proved above and, in addition, by experiment."

"Porro illud quoque in eâdem Cartesij explicatione absurdum, quod eam ob causam majora omnia videri ait, quoniam ex diversis rei visae punctis venientes radij decussentur in exteriori convexa tubi superficie, qui tubo non adhibito ad pupillam oculi desussarentur; quoniam enim si plana aut concava esset loco convexae superficie nihilominus decussatio similes ibi contingere, efficietur aeque etiam inverso tubo majora omnia conspici debere. Quod ijs quae superius demonstrata fuere atque ipsi adeo experientiae adversatur."

D – The Tube with Lenses at Both Extremities

The tube, equipped with two optical lenses at its extremities, the one concave and the other convex, would represent, according to *Descartes* a *Galilean telescope*.

In *Descartes'* time, the invention of the telescope by *Galileo*, in 1609, caused as much enthusiasm throughout the scientific world as did the discovery of the microscope fifty years later. One understands *Descartes'* interest in the study of refraction as it relates to the geometric optics of the ocular transparent media and magnification systems involving the eyes. As early as his *Discourse First of La Dioptrique*, *Descartes* announces his interest in these magnifying glasses, whose inventor *Jacques Metius* he had met at Alkmaar:

"About thirty years ago, someone called Jaques Metius, from the town of Alcmar in Holland, a man who had never studied [...], but who used to take great pleasure in making mirrors and focusing glasses, [...], having on this occasion several glasses of different

8. See Chapter III: Christian Huygens' Contact Cone.

types, decided by good fortune to look through two of them, of which one was a little thicker in the middle than at the edges, and the other was by contrast much thicker at the edges than in the middle, and he did apply them so beneficially to each end of a tube, so that the first of the telescopes which we discussed was constructed from them. ”

« Il y a environ trente ans, qu'un nommé Jacques Metius, de la ville d'Alcmar en Hollande, homme qui n'aurait jamais étudié..., mais qui prenait particulier plaisir à faire des miroirs et verres brûlants, [...], ayant à cette occasion plusieurs verre de diverses formes, s'avisa par bonheur de regarder au travers de deux, dont l'un était un peu plus épais au milieu qu'aux extrémités, et l'autre au contraire beaucoup plus épais aux extrémités qu'au milieu, et il les appliqua si heureusement aux deux bouts d'un tuyau, que la première des lunettes dont nous parlons, en fut composée. » (9)

Descartes fails to specify in the description contained in his *Discourse Seventh* that the two glasses are in fact optical lenses, concave for the ocular, convex for the objective. It is necessary to recall his allusion to *Jacques Metius* in order to understand that “one of them is a little thicker in the middle than at the edges” therefore convex, and “the other by contrast is much thicker at the edges than in the middle” therefore concave. Or also refer to the diagram of the *Discourse Seventh* to observe that his telescopic system is formed from a divergent ocular (plano-concave lens) and of a convergent objective (plano-convex lens).

2.2 - THE CONTACT TUBE AND CARTESIAN PHILOSOPHY

The first rule of *Descartes* that states, “*Never accept anything for true that I might not know to be such from the evidence*” was, in 1637, a major innovation. His contemporaries were prepared to admit that ‘cognition’ is true, when it is universally accepted and has survived time.

Certainly, *Leonardo da Vinci*, *Kepler* and *Galileo* were already involved in this new type of thinking. But their ideas had not yet been systematized and their discoveries had not been framed within a philosophy of spirit and nature. *Descartes*, by substituting mathematics for biology as the science for information and the regulation of knowledge, has effectively delineated the path from ancient to modern science.

This critical *Cartesian* thought can be summarized in his famous rules, which serve as support for the description of the contact tube:

“*Divide each of the difficulties that I will examine into as many parcels as necessary and that it will require to resolve these difficulties.*”

« *Diviser chacune des difficultés que j'examinerai en autant de parcelles qu'il se pourra et qu'il sera requis pour les mieux résoudre.* »

and

“*Conduct my thoughts into order; starting with the simplest things and those easiest to understand, in order to demonstrate little by little, as by degrees, right up to the understanding of the most complex.*”

9. *Descartes, La Dioptrique, Discours premier. (Discourse first) p. 1-2 (1637), and Adam & Tannery 1973, p. 82.*

« *Conduire par ordre mes pensées, en commençant par les objets les plus simples et les plus aisés à connaître, pour monter peu à peu, comme par degrés, jusqu'à la connaissance des plus composés.* »

2.2.1 - MATHEMATICS AS PILLARS OF CARTESIAN REASONING

Mathematics fascinated *Descartes*, who placed enormous hopes in mathematical studies and made them pillars of his ideas (10):

- The idea of a level of truth superior to all others, where error is impossible in an absolute instinct of intellectual evidence and in comparison with which all other cognitions appear correctly to be valueless,
- The idea of a method, i.e. an order to be respected in the conduct of our thoughts; an order which is that of intelligence itself when it is applied to geometry, where it is absolutely necessary to lean on the most simple notions, and where it is impossible to progress without relying on the law of associations in virtue of which every truth is a degree to which one arrives at, when one leaves the previous truth, and which itself gives access to the truth which follows.
- The idea that knowledge is not based on uncertain data from the senses, or on mutilated imagery “*distorted in our imagination*”, but on rational judgment.
- The idea of an analogy between the order of mathematical reasoning and the effects of nature.

2.2.2 - THE CARTESIAN METHOD SHOULD BE UNIVERSAL

Descartes is convinced that the method that he relies on for his mathematical studies is valuable as a method for all disciplines. In this way, *Cartesianism* takes form as a philosophy of experiment and freedom.

Meanwhile, it was necessary to have a point of reference for this new science: this was the “*Cogito*”. The proposition “*Cogito ergo sum*” (“*I think, therefore I am*”) allows a person to assert that he or she cannot have doubts without thinking and that if that person thinks, he or she must exist.

A new step is therefore crossed with regard to Ancient Philosophy: thought is no longer a part of the soul, but the entire soul. It also allows a person to be himself facing God. This infinite being is supreme metaphysically, while man, a finite thing, is supreme psychologically.

“*It is in God that my thought must place itself in order to find there the principle of a progressive march forwards destined to illuminate, to found, and to coordinate my cognitions, even the disjointed and uncertain ones, and put all of these back in their correct position.*”

« *C'est en Dieu que ma pensée doit se placer pour y trouver le principe d'une marche progressive destinée à éclairer, à fonder, à coordonner mes connaissances jusque là disjointes, mal assurées et à remettre toutes choses à leur vraie place.* »

If *Descartes* has given such a basic role to having doubt, it is necessary to understand well his need for the *Cogito* and its assurances (“*I exist well, God exists well*”), because “*his fear*

10. According to Bridoux 1953.

of being mistaken or of being tricked by another person " seems fundamental. "It is necessary to reason methodically; and by thought alone one can reach truth".

Thus with *Descartes*, the development of the Natural Sciences destroys the idea of a Cosmos hierarchy where man has his natural place. The Cosmos bursts forth and gives way to a new Universe, which is infinite and identical throughout by its laws, without being and without life. And the whole existence of the world ebbs back towards the subject of knowledge, towards the *Cogito*, the basis, and source of knowledge of the world, but which itself is not part of the world.

3 - DESCARTES, CORNEAL DIOPTRIC POWER NEUTRALIZATION AND CONTACT LENSES

The magnification system described by *Descartes* in the *Discourse Seventh of La Dioptrique* is a model of application of the philosophical principles presented in his *Discours de la Méthode*. Starting with simple facts, facts that are clear and measurable mathematically, the consideration of truth follows a rational and logical progression. Each step leads to the next cognition. *Descartes* utilizes the principle of lengthening of the ocular globe to enlarge the image projected on the fundus oculi and he arrives finally at the principle of the telescope by a series of logical reflections. It is involuntarily and unconsciously that he alludes to two basic principles of contact lenses at the time of the description of the contact tube: the neutralization of corneal dioptric power and its replacement by a new surface having refractive power.

Appreciation of Descartes' Corneal Dioptric Power Neutralization

In his description and explanation of the telescope, *Descartes* starts with a water-filled contact tube. This contact system is frequently interpreted as a precursor of contact lenses. In fact, this viewpoint is only partially true.

It is true that *Descartes* describes:

- the principle of elimination, neutralization and dioptric effect on the cornea by means of applying a liquid in contact with the cornea,
- the principle of a liquid in contact with the cornea, maintained by a specific structure applied against the eye,
- the substitution of a new optical surface centered on the optical axis in place of the corneal power, which has been eliminated.

It is erroneous to equate the contact tube described by *Descartes* with a modern contact lens, for:

- the contact tube calls for a lengthening of the axis of the globe, whereas contact lenses do not modify its length,
- the contact tube produces an enlargement of images projected on the retina, while contact lenses do not enlarge images, but have as their purpose the correction of refractive errors,
- the contact tube of *Descartes*, in its original version, comprises three telescopic components making its length variable, which cannot be a contact lens,
- the contact tube is maintained against the cornea by external action and not by capillary pressure or pupillary pressure, as is the case with contact lenses,

Descartes describes an optical system of which the extremity possesses the same curvature as the cornea; therefore, it has no refractive effect. He admits not to be able to measure this curvature. Contact lenses possess an anterior surface with a curvature different from that of the posterior surface thereby to modifying the refractive effect.

The tube is applied to an emmetropic eye, whilst contact lenses are destined to correct errors of refraction in an ametropic eye.

It is therefore an error to give recognition to *Descartes*:

- for using neutralization, because he himself objects "*that it would be very inconvenient to keep water up against our eye*", and
- for using an additional optical surface, in front of the liquid, because he notes himself that one would not know either how to measure the curvature of the cornea or that of the "*glass to substitute in its place*".

Let us be clear that the construction described by *Descartes* is impracticable. It is a theoretical speculation, which, from an optical viewpoint, is ill founded and erroneous, by means of which he wishes to illustrate the forward progression of *Cartesian* reasoning (11). The structure placed against the cornea has no connection with a contact lens.

One could possibly consider it to be a distant precursor of the hydrodiascopes of *Czermak*, but even if *Descartes* had described neutralization of corneal dioptric power by a liquid and its replacement by another surface with optical effect, it is impossibly difficult to consider *Descartes* as the inventor of contact lenses.

4. - A SHORT HISTORY OF THE ORIGIN AND THE PROPAGATION OF SEVERAL MISTAKES

(Figures 2 - 8A, 2-8B, 2-8C)

Erggelet (1930) may have been the first author to attribute to Descartes the priority of the idea of contact lenses and even an ocular mould:

"The idea of reproducing precisely the cornea by means of a mould had, in a way, already been considered by R. Descartes and in 1887 by Fr. W. Herschell."

"Den Plan, die Hornhaut durch Abguss genau nachzuformen, haben in gewissen Sinn schon Descartes und 1827 Fr. W. Herschel gehegt." (12)

This opinion was taken up by *Dudragnes (1947)*, who interpreted with this meaning some selected diagrams and extracts from the *Discourse Seventh* (13). The same idea was introduced into the U.S.A. by *Hofstetter and Graham (14)*. It had an echo of support in a paper by *Enoch* who allowed himself to make interpretations much removed from the text, which he summarized as follows:

"Descartes was the first to apply the lens directly to the eye and to correctly interpret contact lens optics, imagery, magnification, and the negation of the cornea by the lens. He also suggested some possible applications for the lens." (15)

In 1959, *Graham* repeated *Enoch's* errors in order to support his evidence at the time of a priority legal action taken against him by certain contact lens manufacturers. One extremely simplified diagram with the tube placed on the cornea was to constitute the basic argument for attributing to *Descartes* the invention of corneal contact lenses.

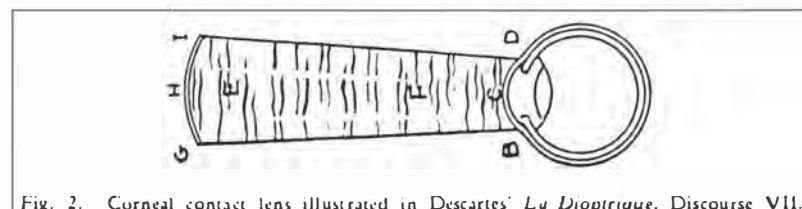


Fig. 2. Corneal contact lens illustrated in Descartes' *La Dioptrique*, Discourse VII.

Figure 2 - 8A

Examples of Misinterpretations of Descartes' contact tube

Description of a "Corneal contact lens illustrated in Descartes', *La Dioptrique*, Discours VII"
(Graham 1959, p. 57).

Similar diagrams are also represented with the legend "Optical apparatus described by Descartes"
(Mandel 1988, p. 6).

"The first individual to place a lens directly on the cornea, without scleral contact, was Rene Descartes [...]. However, had Descartes shortened his column of water as much as possible, i.e. until there was only a capillary layer of tear fluid left, thus eliminating the tube and had he reduced his lens element to a small meniscus shaped as he specifies exactly like the cornea, he would have had a typical corneal lens resting within the limbus of the eye." (16)

11. Levene (1977) tried to make a structure according to the model described by Descartes. He confirmed that the tube was impracticable and did not produce the effect described. Levene was not aware that Huygens had described it in 1653 (see Chapter III: Christian Huygens' Contact Cone).

12. Communication to the "Medizinische Gesellschaft zu Jena" of 20th July 1930 (Erggelet 1930, p. 1955).

13. Dudragnes (1965). But, Strehel (1948) challenges Dudragnes in a well-documented article.

14. Hofstetter & Graham (1953) refer to a personal communication written by Allpar.

15. Enoch 1956, p. 84.

16. Graham 1959, p. 55.

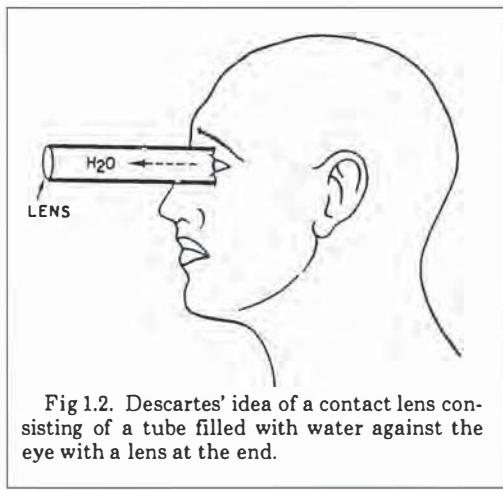


Figure 2 - 8B

Examples of Misinterpretations of Descartes' contact tube

Diagram with the legend: "Descartes' idea of a contact lens consisting of a tube filled with water against the eye with a lens at the end." (Hales 1978, p. 4) This diagram is often reproduced in historical introductions to contact lens treatises.

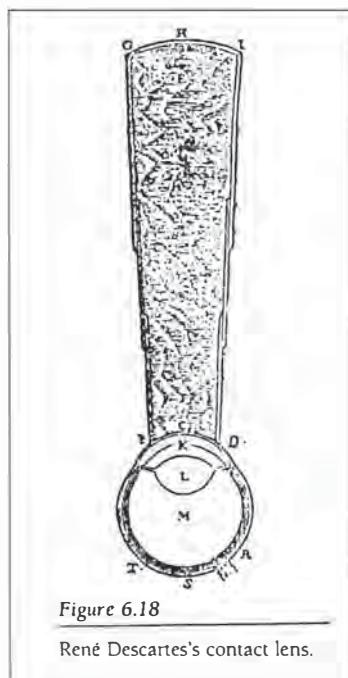


Figure 2 - 8C

Examples of Misinterpretations of Descartes' contact tube

Diagram with the legend "René Descartes's contact lens" (Albert 1996, p.120).

Note how the utilization, in the reedition of *Descartes' Method* by *Cousin* (1824), of a simplified tube diagram in one piece instead of the extensible tube in three pieces represented in the original edition, explains certain errors, as *Levene* (17) emphasized. (Figure 2 - 9)

Several authors have drawn attention to the futility of these erroneous attributions:

"The elongated water-filled tube used by Descartes to enlarge the size of the retinal image would certainly have been impossible to wear as an appliance for the correction of vision." (18)

These studies, often very well argued, have been little noted; thus, *Strebel*'s concludes:

"With these constructions, Descartes is noted as a pioneer for the later manufacturers of telescopes, but these are in no way the precursors of contact lenses."

"Cartesius erweist sich also mit diesen Konstruktionen als bewusster Vorlaeufer der spaeteren Telescopbauer, aber nicht als Schrittmacher der Kontaktglaeser" (19)

Nevertheless, and in spite of excellent recent English translations (20), the idea of *Descartes'* priority persists still in today's world (21). Thus, more recently, a notable historian attributes to the "contact tube" the characteristics of a lens for the correction of myopia and presbyopia:

"Rene Descartes in his many writings on refraction and the physiology of vision proposed an elongated lens, or "contact tube", which some consider to be the precursor of the contact lens. According to the diagram of Descartes, the tube was placed on the corneal area and was proposed as a "way of perfecting vision" in cases of myopia and presbyopia." (22)

17. Levene has particularly emphasized this point (1967, p. 293-294, and 1977).

18. Sabell 1980, p. 1.

19. Strebel 1948, p. 797.

20. Note that of Scott, 1952.

21. Recent authors refer particularly to Mackie in Duke-Elder (1970). Paradoxically, this reference treatise includes a three-piece extensible tube.

22. Albert 1996, p. 119.

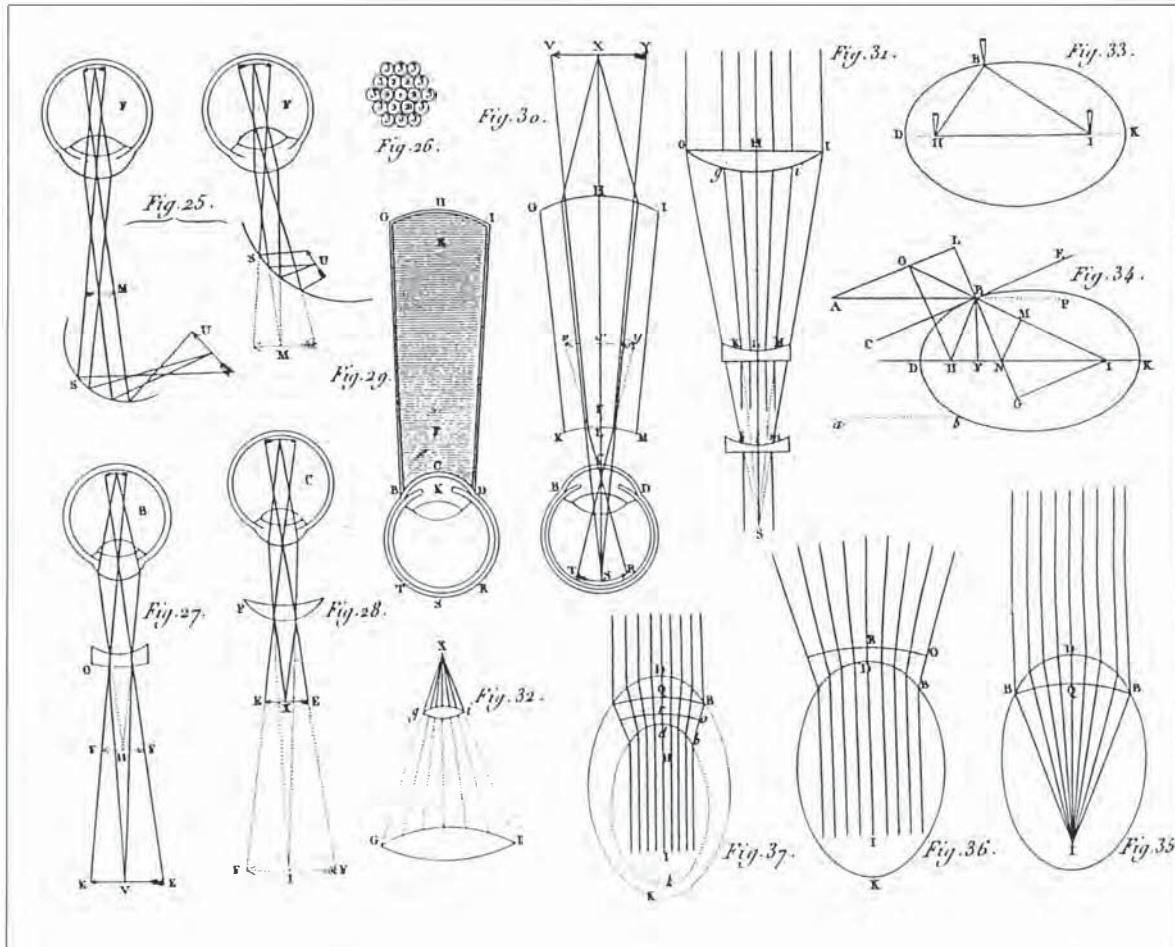


Figure 2 - 9

Plate III of volume V of the "Oeuvres de Descartes", re-issued by Cousin (1924)

The "Oeuvres de Descartes" (Works of Descartes) were re-issued by Victor Cousin in 1824. This re-edition served as a model for English-language translations. The figures scattered throughout the original text were reassembled on the plates after having been "simplified". The figure depicting the "tube of Descartes" became figure 29 of plate III of volume 5. Important differences are noted in this new "simplified" presentation: The "tube" is represented as a single-piece tube and is no longer in three segments fitted together like a telescope. The tube is placed up against the peripheral part of the cornea. The iris is shown to have the same thickness as the choroid, the optic nerve is not represented, and so on.

APPENDIX

TRANSCRIPTION OF

René Descartes,

Discours septième - Des Moyens de Perfectionner la Vision

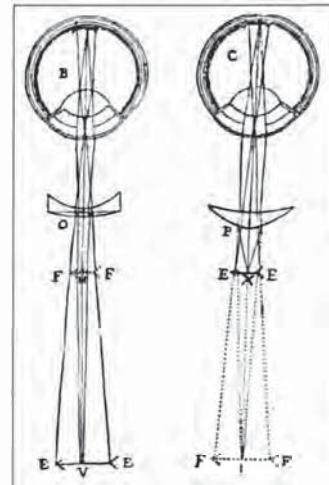
(1) Qu'il n'y a que quatre choses qui sont requises pour rendre la vision toute parfaite

Maintenant que nous avons assez examiné comment se fait la vision, recueillons en peu de mots et nous remettons devant les yeux toutes les conditions qui sont requises à sa perfection, afin que, considérant en quelle sorte il a déjà été pourvu à chacune par la Nature, nous puissions faire un dénombrement exact de tout ce qui reste encore à l'art à y ajouter. On peut réduire toutes les choses auxquelles il faut avoir ici égard, à trois principales, qui sont : les objets, les organes intérieurs qui reçoivent les actions de ces objets et les extérieurs qui disposent ces actions à être reçues comme elles doivent. Et touchant les objets, il suffit de savoir que les uns sont proches ou accessibles, et les autres éloignés et inaccessibles; et, avec cela que, les uns plus, les autres moins illuminés; afin que nous soyons avertis que, pour ce qui est des accessibles, nous les pouvons approcher ou éloigner, et augmenter ou diminuer la lumière qui les éclaire, selon qu'il nous sera le plus commode; mais que, pour ce qui concerne les autres, nous n'y pouvons changer aucune chose. Puis, touchant les organes intérieurs, qui sont les nerfs et le cerveau, il est certains aussi que nous ne saurions rien ajouter par art à leur fabrique; car nous ne saurions nous faire un nouveau corps, et si les médecins y peuvent aider en quelque chose, cela n'appartient point à notre sujet. Si bien qu'il ne nous reste à considérer que les organes extérieurs, entre lesquels je comprends toutes les parties transparentes de l'œil, aussi bien que tous les autres corps qu'on peut mettre entre lui et l'objet.

(2) Quatuor tantum ad visionem perfectam reddendam requiri

Et je trouve que toutes les choses auxquelles il est besoin de pourvoir avec ces organes extérieurs, peuvent être réduites à quatre points. Dont le premier est que tous les rayons qui se vont rendre vers chacune des extrémités du nerf optique, ne viennent, autant qu'il est possible, que d'une même partie de l'objet, et qu'ils ne reçoivent aucun changement en l'espace qui est entre eux: car sans cela, les images qu'ils forment ne sauraient être ni bien semblables à leur original, ni bien distinctes. Le second, que ces

images soient fort grandes; non pas en étendue de lieu, car elles ne sauraient occuper que le peu d'espace qui se trouve au fond de l'œil; mais en l'étendue de leurs linéaments ou de leurs traits, car il est certain qu'ils seront d'autant plus aisés à discerner qu'ils seront plus grands. Le troisième, que les rayons qui les forment soient assez forts pour mouvoir les petits filets du nerf optique, et par ce moyen être sentis; mais qu'ils ne le soient pas tant qu'ils blessent la vue. Et le quatrième, qu'il y ait le plus d'objets qu'il sera possible, dont les images se forment dans l'œil en même temps, afin qu'on puisse voir le plus qu'il sera possible tout d'une vue.



(3) Comment la Nature a pourvu à la première de ces choses et ce qui reste à l'art à y ajoute

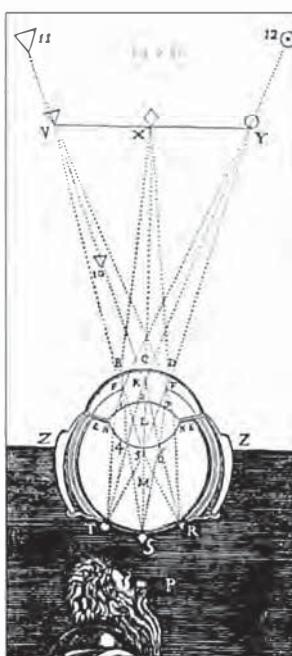
Or la Nature a employé plusieurs moyens à pourvoir à la première de ces choses. Car, premièrement, remplissant l'œil de liqueurs fort transparentes et qui ne sont teintées d'aucune couleur, elle a fait que les actions qui viennent de dehors, peuvent passer jusqu'au fond sans se changer. Et par les réfractions que causent les superficies de ces liqueurs, elle a fait qu'entre les rayons, suivant lesquels ces actions se conduisent, ceux qui viennent d'un même point, se rassemblent en un même point contre le nerf; et ensuite, que ceux qui viennent des autres points, s'y rassemblent aussi en autant d'autres divers points, le plus exactement qu'il est possible. Car nous devons supposer que la Nature a fait en ceci tout ce qui est possible, d'autant que l'expérience ne nous y fait rien apercevoir au contraire. Et même que nous voyons que, pour rendre d'autant moindre le défaut qui ne peut, en ceci, être totalement évité, elle a fait qu'on puisse rétrécir la prunelle quasi autant que la force de

la lumière le permet. Puis, par la couleur noire dont elle a teint toutes les parties de l'œil, opposées au nerf, qui ne sont point transparentes, elles a empêché qu'il n'allait aucun autre rayon vers ces mêmes points. Et enfin, par le changement de la figure du corps de l'œil, elle a fait qu'encore que les objets en puissent être plus ou moins éloignés une fois que l'autre, les rayons qui viennent de chacun de leurs points, ne laissent pas de s'assembler, toujours aussi exactement qu'il se peut, en autant d'autres points au fond de l'œil.

(4) Quelle différence il y a entre les yeux des jeunes gens et ceux des vieillards

Toutefois, elle n'a pas si entièrement pourvu à cette dernière partie, qu'il ne se trouve encore quelque chose à y ajouter : car, outre que, communément à tous, elle ne nous a pas donné le moyen de courber tant les superficies de nos yeux, que nous puissions voir distinctement les objets qui en sont fort proches, comme à un doigt ou un demi doigt de distance, elle y a encore manqué d'avantage en quelques uns, à qui elle a fait les yeux de telle figure, qu'ils ne leur peuvent servir qu'à regarder les choses éloignées, ce qui arrive principalement aux vieillards ; et aussi en quelques autres, à qui, au contraire, elle les a fait tels, qu'ils ne leur servent qu'à regarder les choses proches, ce qui est plus ordinaire aux jeunes gens.

(5) Comment il faut pourvoir à ce que la Nature a omis aux yeux de ceux qui ont la vue courte. Et comment à ce qu'elle a omis aux yeux des vieillards



tombent sur elles, en telle sorte que tous ceux qui viennent d'un certain point de l'objet, se disposent, en les traversant, tout de même que s'ils étaient venus d'un autre point, qui fut plus proche ou plus éloigné : à savoir, qui fut plus proche, pour servir à

ceux qui ont la vue courte ; et qui fut plus éloigné, tant pour les vieillards que généralement pour tous ceux qui veulent voir des objets plus proches que la figure de leurs yeux ne le permet.

Car, par exemple, l'œil B, ou C, étant disposé à faire que tous les rayons qui viennent du point H, ou I, s'assemblent au milieu de son fond ; et ne le pouvant être à faire aussi que ceux du point V, ou X, s'y assemblent ; il est évident que, si on met au devant de lui le verre O, ou P, qui fasse que tous les rayons du point V, ou X, entrent dedans, tout de même que s'ils venaient du point H, ou I, on suppléera par ce moyen à son défaut.

(6) Qu'entre plusieurs verres qui peuvent servir à cet effet, il faut choisir les plus aisés à tailler et avec cela ceux qui font le mieux que les rayons qui viennent de divers points semblent venir d'autant d'autres divers points

Puis, à cause qu'il peut y avoir des verres de plusieurs diverses figures, qui aient en cela exactement le même effet, il sera besoin, pour choisir les plus propres à notre dessin, que nous prenions encore garde principalement à deux conditions. Dont la première est que ces figures soient les plus simples et les plus aisées à décrire et à tailler qu'il sera possible. Et la seconde, que par leur moyen, les rayons qui viennent des autres points de l'objet, comme E, entrent dans l'œil à peu près de même que s'ils venaient d'autant d'autres points, comme F.

(7) Qu'il n'est pas besoin de choisir en ceci autrement qu'à peu près; et pourquoi

Et notez que je dis seulement ici à peu près, non autant qu'il est possible ; car, outre qu'il serait peut-être assez malaisé à déterminer par Géométrie, entre une infinité de figures qui peuvent servir à ce même effet, celles qui y sont exactement les plus propres, il serait entièrement inutile, à cause que, l'œil même ne faisant pas que tous les rayons qui viennent de divers points, s'assemblent justement en autant d'autres divers points, elles ne seraient pas sans doute pour cela les plus propres à rendre la vision bien distincte, et il est impossible en ceci de choisir autrement qu'à peu près, à cause que la figure précise de l'œil ne nous peut être connue.

De plus, nous aurons toujours à prendre garde, lorsque nous appliquerons ainsi quelque corps au devant de nos yeux, que nous imitions autant que possible la Nature, en toutes les choses que nous voyons qu'elle a observé en les construisant ; et, que nous ne perdions aucun des avantages qu'elle nous a donnés, si ce n'est pour en gagner quelque autre plus important.

(8) Que la grandeur des images ne dépend que de la distance des objets du lieu où se croisent les rayons qui entrent dans l'œil et de leur réfraction

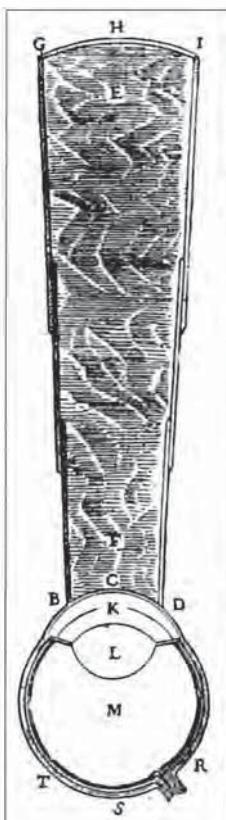
Pour la grandeur des images, il est à remarquer

qu'elle dépend seulement de trois choses, à savoir, de la distance qui est entre l'objet et le lieu où se croisent les rayons qu'il envoie de divers de ses points vers le fond de l'œil ; puis de celle qui est entre ce même lieu et le fond de l'œil ; et enfin, de la réfraction de ces rayons. Comme il est évident que l'image RST serait plus grande qu'elle n'est , si l'objet VXY était plus proche du lieu K, où se croisent les rayons V K R et Y K T, ou plutôt de la superficie B C D qui est proprement le lieu où ils commencent à se croiser, ainsi que vous verrez ci-après ; ou bien si on pouvait faire que le corps de l'œil fut plus long, en sorte qu'il eut plus de distance qu'il n'y a, depuis sa superficie B C D, qui fait que ces rayons s'entrecroisent, jusque au fond R S T ; ou si la réfraction ne les courbait pas tant en dedans vers le milieu S, mais plutôt, s'il était possible, en dehors. Et quoiqu'on imagine outre ces trois choses, il n'y a rien qui puisse rendre cette image plus grande.

(9) Que la réfraction n'est pas ici fort considérable, ni la distance des objets accessible. Et comment on doit faire lorsqu'ils sont inaccessibles

Même la dernière n'est quasi point du tout considérable à cause qu'on ne peut jamais augmenter l'image par son moyen que de fort peu, et ce avec tant de difficulté, qu'on le peut toujours plus aisément par l'une des autres, ainsi que vous saurez tout maintenant. Aussi, voyons nous que la Nature l'a négligée ; car, faisant que les rayons, comme V K R et Y K T, se courbent en dedans vers S sur les superficies B C D et I 2 3, elle a rendu l'image R S T un peu plus petite que si elle avait fait qu'ils se courbassent en dehors, comme ils font vers 5 sur la superficie 4 5 6 , ou qu'elle les eut laissé être tous droits.

On n'a point besoin aussi de considérer la première de ces trois choses, lorsque les objets ne sont point du tout accessibles : mais, lorsqu'ils le sont, il est évident que, d'autant que nous les regardons de plus près, d'autant leurs images se forment plus grandes au fond de nos yeux. Si bien que, la Nature ne nous ayant pas donné le moyen de les regarder de plus près qu'environ à un pied ou demi pied de distance, afin d'y ajouter par art tout ce qui se peut, il est seulement besoin d'interposer un verre, tel que celui qui est marqué P, dont il est parlé tout maintenant, qui fasse que tous les rayons, qui



viennent d'un point le plus proche qu'il se pourra, entrent dans l'œil comme s'ils venaient d'un autre point plus éloigné. Or tout le plus qu'on puisse faire par ce moyen, c'est qu'il n'y aura que la douze ou quinzième partie d'autant d'espace entre l'œil et l'objet, qu'il y en devrait avoir sans cela ; et ainsi, que les rayons qui viendront de divers points de cet objet, se croisant douze ou quinze fois plus près de lui, ou même quelque peu d'avantage, à cause que ce ne sera plus sur la superficie de l'œil qu'ils commenceront à se croiser, mais plutôt sur celle du verre, dont l'objet sera un peu plus proche, ils formeront une image, dont le diamètre sera douze ou quinze fois plus grand qu'il ne pourrait être, si on ne se servait point de ce verre ; et par conséquent sa superficie sera environ deux cent fois plus grande, ce qui fera que l'objet paraîtra environ deux cent fois plus distinctement ; au moyen de quoi, il paraîtrait aussi beaucoup plus grand, non pas deux cent fois justement, mais plus ou moins, à proportion de ce qu'on le jugera être éloigné.

(10) En quoi consiste l'invention des lunettes à puces composées d'un seul verre, et quel est leur effet

Car, par exemple, si, en regardant l'objet X au travers du verre P, on dispose son œil C en même sorte qu'il devrait être pour voir un autre objet, qui serait à 20 ou 30 pas loin de lui, et que, n'ayant d'ailleurs aucune connaissance du lieu où est cet objet X, on le juge être véritablement à trente pas, il semblera plus d'un million de fois plus grand qu'il n'est. En sorte qu'il pourra devenir d'une puce un éléphant : car il est certain que l'image que forme une puce au fond de l'œil, lorsqu'elle en est si proche, n'est pas moins grande que celle qu'y forme un éléphant, lorsqu'il est à trente pas. Et c'est sur ceci seul qu'est fondée toute l'invention de ces petites lunettes à puces composées d'un seul verre, dont l'usage est partout assez commun, bien qu'on n'ait pas encore connu la vraie figure qu'elles doivent avoir ; et pour ce qu'on sait ordinairement que l'objet est fort proche, lorsqu'on les emploie à le regarder, il ne peut paraître si grand qu'il serait, si on l'imaginait plus éloigné.

(11) Comment on peut augmenter les images, en faisant que les rayons se croisent fort loin de l'œil, par le moyen d'un tuyau plein d'eau

Il ne reste plus qu'un autre moyen pour augmenter la grandeur des images, qui est de faire que les rayons qui viennent de divers points de l'objet se croisent le plus loin qu'il se pourra du fond de l'œil ; mais il est bien, sans comparaison, le plus important et le plus considérable de tous. Car c'est l'unique qui puisse servir pour les objets inaccessibles, aussi bien que pour les accessibles, et dont l'effet n'a point de bornes : en sorte qu'on peut, en s'en servant, augmenter les images de plus en plus jusque à une grandeur indéfinie.

Comme, par exemple, d'autant que la première des trois liqueurs dont l'œil est rempli, cause à peu près même réfraction que l'eau commune, si on applique tout contre un tuyau plein d'eau, comme E F, au bout duquel il y ait un verre G H I, dont la figure soit toute semblable à celle de la peau B C D qui couvre cette liqueur, et ait même rapport à la distance du fond de l'œil, il ne se fera plus aucune réfraction à l'entrée de cet œil : mais, celle qui s'y faisait auparavant (et qui était cause que tous les rayons qui venaient d'un même point de l'objet commençaient à se courber dès cet endroit là, pour aller s'assembler en un même point sur les extrémités du nerf optique, et qu'ensuite tous ceux qui venaient de divers points s'y croisaient, pour aller rendre sur divers points de ce nerf), se fera dès l'entrée du tuyau G I : si bien que ces rayons, se croisant dès là, formeront l'image R S T beaucoup plus grande que s'ils ne se croisaient que sur la superficie B C D :

(12) Que plus ce tuyau est long, plus il augmente l'image : et qu'il fait le même que si la Nature aurait fait l'œil d'autant plus long et ils la formeront de plus en plus grande selon que ce tuyau sera plus long. Et ainsi l'eau E F faisant l'office de l'humeur K ; le verre G H I, celui de la peau B C D ; et l'entrée du tuyau G I, celui de la prunelle ; la vision se fera en même façon que si la Nature avait fait l'œil plus long qu'il n'est, de toute la longueur de ce tuyau.

(13) Que la prunelle de l'œil nuit, au lieu de servir, lorsqu'on se sert d'un tel tuyau

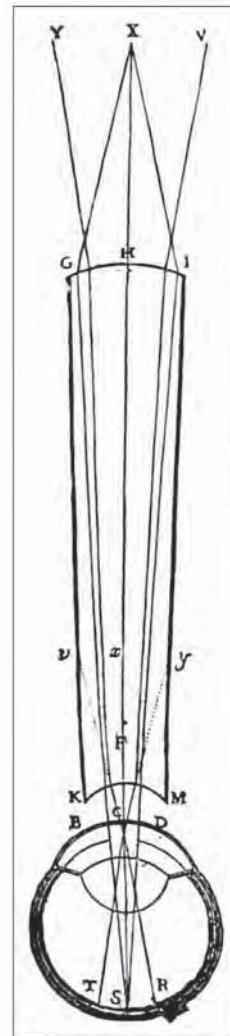
Sans qu'il y ait autre chose à remarquer, sinon que la vraie prunelle sera, pour lors, non seulement inutile, mais même nuisible, en ce qu'elle exclura, par sa petitesse, les rayons qui pourraient aller vers les côtés du fond de l'œil, et ainsi empêchera que les images ne s'y étendent en autant d'espace qu'elles seraient, si elle n'était point si étroite.

(14) Que ni les réfractions du verre qui contient l'eau dans ce tuyau, ni celles des peaux qui enveloppent les humeurs de l'œil ne sont considérables

Il ne faut pas aussi que je m'oublie de vous avertir que les réfractions particulières, qui se font un peu autrement dans le verre G H I que dans l'eau E F, ne sont point ici considérables. à cause que, ce verre étant partout également épais, si la première de ses superficies fait courber les rayons un peu plus que ne ferait celle de l'eau, la seconde les redresse d'autant en même temps. Et c'est pour cette même raison que, ci-dessus, je n'ai point parlé des réfractions que peuvent causer les peaux qui enveloppent les humeurs de l'œil, mais seulement de celles de ses humeurs.

(15) Comment on peut faire le même, par le moyen d'un tuyau séparé de l'œil, que par un qui lui est joint

Or d'autant qu'il y aurait beaucoup d'incommodité à joindre de l'eau contre notre œil, en la façon que je viens d'expliquer ; et même que, ne pouvant savoir précisément quelle est la figure de la peau B C D qui le couvre, on ne saurait déterminer exactement celle du verre G H I, pour le substituer en sa place : il sera mieux de se servir d'une autre invention, et de faire par le moyen d'un ou de plusieurs verres ou autres corps transparents, enfermés aussi en un tuyau, mais non pas joints à l'œil si exactement qu'il ne demeure un peu d'air entre deux, que, dès l'entrée de ce tuyau, les rayons qui viennent d'un même point de l'objet se plient, ou se courbent, en la façon qui est requise pour faire qu'ils aillent se rassembler en un autre point, vers l'endroit où se trouvera le milieu du fond de l'œil, quand ce tuyau sera mis au devant. Puis, derechef, que ces mêmes rayons, en sortant de ce tuyau, se plient et se redressent en telle sorte qu'ils puissent entrer dans l'œil tout de même que s'ils n'avaient point du tout été pliés, mais seulement qu'ils vinssent de quelque lieu qui fut plus proche.



Et ensuite, que ceux qui viendront de divers points, s'étant croisés dès l'entrée de ce tuyau, ne se décroisent point à la sortie, mais qu'ils aillent vers l'œil en même façon que s'ils venaient d'un objet qui fut plus grand, ou plus proche. Comme, si le tuyau H F est rempli d'un verre tout solide, dont la superficie G H I soit de telle figure, qu'elle fasse que tous les rayons qui viennent du point X, étant dans le verre, tendent vers S ; et que son autre superficie K M les plie derechef en telle sorte, qu'ils tendent de là vers l'œil en même façon que s'ils venaient du point x, que je suppose en tel lieu, que les lignes x C et C S ont entre elles même proportion que X H et H S ; ceux qui viendront du point V les croiseront nécessairement en la superficie G H I, de façon que, se trouvant déjà éloignés d'eux lorsqu'ils seront à l'autre bout du tuyau, la superficie K M ne les en pourra pas rapprocher, principale-ment si elle est

concave, ainsi que je le suppose ; mais elles les renverra vers l'œil, à peu près en même sorte que s'ils venaient du point *y*. Au moyen de quoi ils formeront l'image *R S T* d'autant plus grande que le tuyau sera plus long, et il ne sera point besoin, pour déterminer les figures des corps transparents dont on voudra se servir à cet effet, de savoir exactement quelle est celle de la superficie *B C D*.

(16) En quoi consiste l'invention des lunettes d'approche

Mais pour ce qu'il y aurait derechef de l'incommodité à trouver des verres ou autres tels corps qui fussent assez épais pour remplir tout le tuyau *H F*, et assez clairs et transparents pour n'empêcher point pour cela le passage de la lumière, on pourra laisser vide tout le dedans de ce tuyau, et mettre seulement deux verres à ses deux bouts, qui fassent le même effet que je viens de dire que les deux superficies *G H I* et *K L M* devraient faire. **Et c'est sur ceci seul qu'est fondée toute l'invention de ces lunettes composées de deux verres mis aux deux bouts d'un tuyau, qui m'ont donné occasion d'écrire ce Traité.**

(17) Comment on peut empêcher que la force des rayons qui entrent dans l'œil ne soit trop grande

Pour la troisième condition qui est requise à la perfection de la vue de la part des organes extérieurs, à savoir, que les actions qui meuvent chaque fillet du nerf optique ne soient ni trop fortes ni trop faibles, la Nature y a fort bien pourvue, en nous donnant le pouvoir de rétrécir et d'élargir les prunelles de nos yeux. Mais elle a encore laissé à l'art quelque chose à y ajouter. Car premièrement lorsque ces actions sont si fortes, qu'on ne peut assez rétrécir les prunelles pour les souffrir, comme lorsqu'on veut regarder le soleil, il est aisément d'y apporter remède en se mettant contre l'œil quelque corps noir, dans lequel il n'y ait qu'un trou fort étroit, qui fasse l'office de la prunelle ; ou bien en regardant à travers d'un crêpe, ou de quelque autre tel corps un peu obscur, et qui ne laisse entrer en l'œil qu'autant de rayons de chaque partie de l'objet , qu'il en est besoin pour mouvoir le nerf optique sans le blesser.

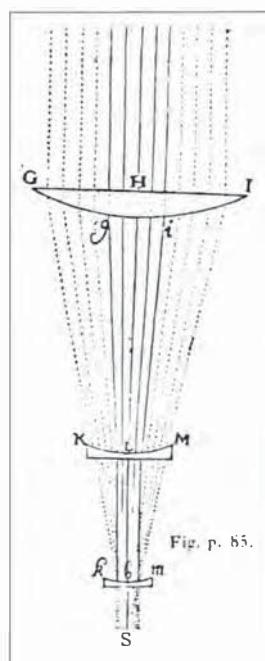
(18) Comment on peut augmenter, lorsqu'elle est trop faible et que les objets sont accessibles

Et lorsque, tout au contraire, ces actions sont trop faibles pour être senties, nous pouvons les rendre plus fortes, au moins quand les objets sont accessibles, en les exposant aux rayons du soleil, tellement ramassés par l'aide d'un miroir ou verre brûlant , qu'ils aient le plus de force qu'ils puissent avoir pour les illuminer sans les corrompre.

(19) Et comment, lorsqu'ils sont inaccessibles et qu'on se sert de lunettes d'approche

Puis outre cela, lorsqu'on se sert des lunettes dont

nous venons de parler, d'autant qu'elles rendent la prunelle inutile, et que c'est l'ouverture par où elles reçoivent la lumière de dehors qui fait son office, c'est elle aussi qu'on doit élargir ou rétrécir, selon qu'on veut rendre la vision plus forte ou plus faible. Et il est à remarquer que, si on ne faisait point cette ouverture plus large qu'est la prunelle, les rayons agiraient moins fort contre chaque partie du fond de l'œil, que si on ne se servait point de lunettes : et ce, même proportion que les images qu'ils y formaient seraient plus grandes : sans conter ce que les superficies des verres interposés ôtent de leur force.



(20) De combien on peut faire l'ouverture de ces lunettes plus grandes que n'est la prunelle. Et pourquoi on la fait faire plus grande

Mais on peut la rendre beaucoup plus large, et ce d'autant plus, que le verre qui redresse les rayons, est situé plus proche du point vers lequel celui qui les a plié les faisait tendre.

Comme, si le verre *G g H i* fait que tous les rayons qui viennent du point qu'on veut regarder tendent vers *S*, et qu'ils soient redressés par le verre *K L M*, en sorte que de là ils tendent parallèles vers l'œil : pour trouver la plus grande largeur que puisse avoir l'ouverture du tuyau, il faut faire la distance qui est entre les points *K* et *M*, égale au diamètre de la prunelle ; puis, tirant du point *S* deux lignes droites qui passent par *K* et *M*, à savoir *S K*, qu'il faut prolonger jusque à *g* ; et *S M* jusque à *i* ; on aura *g i* pour le diamètre qu'on cherchait. Car il est manifeste que, si on la faisait plus grande, il n'entrerait point pour cela dans l'œil plus de rayons du point vers lequel on dresse sa vue, et que, pour ceux qui y viendront de plus des autres lieux, ne pouvant aider à la vision, ils ne sauraient que la rendre plus confuse. Mais si au lieu du verre *K L M*, on se sert de *k l m*, qui, à cause de sa figure, doit être mis plus proche du point *S*, on prendra derechef la distance entre les points *k* et *m* égale au diamètre de la prunelle ; puis tirant les lignes *S k G* et *S m l*, on aura *G l* pour le diamètre de l'ouverture cherchée, qui comme vous voyez est plus grand que *g i*, en même proportion que la ligne *S L* surpassé *S l*.

(21) Que pour les objets accessibles on n'a point besoin d'augmenter ainsi l'ouverture du tuyau

Et si cette ligne *S l* n'est pas plus grande que le

diamètre de l'œil, la vision sera aussi forte à peu près, et aussi claire, que si on ne se servait point de lunettes, et que les objets fussent, en récompense, plus proches qu'ils ne sont, d'autant qu'ils paraissent plus grands. En sorte que, si la longueur du tuyau fait, par exemple, que l'image d'un objet éloigné de trente lieues se forme aussi grande dans l'œil, que s'il n'était éloigné que de trente pas, la largeur de son entrée, étant telle que je viens de la déterminer, fera que cet objet se verra aussi clairement que si, n'en étant véritablement éloigné que de trente pas, on le regardait sans lunettes. Et si on peut faire cette distance entre les points S et I encore moindre, la vision sera encore plus claire.

(22) Que, pour diminuer la force des rayons, lorsqu'on se sert de lunettes, il vaut mieux retrécir leur ouverture que la couvrir d'un verre coloré

Mais ceci ne sert principalement que pour les objets inaccessibles ; car pour ceux qui sont accessibles, l'ouverture du tuyau peut être d'autant plus étroite qu'on les en rapproche davantage, sans pour cela que la vision en soit moins claire.

Comme vous voyez qu'il n'entre pas moins de rayons du point X dans le petit verre *g i*, que dans le grand *G I*. Et enfin, elle ne peut être plus large que les verres qu'on y applique, lesquels, à cause de leurs figures, ne doivent point excéder certaine grandeur, que je déterminerai ci-après.

(23) Que pour retrécir, il vaut mieux couvrir les extrémités du verre par dehors que par dedans

Que si quelquefois la lumière qui vient des objets est trop forte, il sera bien aisé de l'affaiblir, en couvrant tout autour les extrémités du verre qui est à l'entrée du tuyau : ce qui vaudra mieux que de mettre au devant quelques autres verres plus troubles ou colorés, ainsi que plusieurs ont coutume de faire pour regarder le soleil ; car, plus cette entrée sera étroite, plus la vision sera distincte, ainsi qu'il a été dit ci-dessus de la prunelle. Et même il faut observer qu'il sera mieux de couvrir le verre par le dehors que par le dedans, afin que les réflexions qui se pourraient faire sur les bords de sa superficie, n'envoient vers l'œil aucun rayon : car ces rayons, ne servant point à la vision, y pourraient nuire.

(24) A quoi il est utile de voir plusieurs objets en même temps ; et ce qu'on doit faire pour n'en pas avoir de besoin

Il n'y a plus qu'une condition qui soit désirée de la part des organes extérieurs, qui est de faire qu'on aperçoive le plus d'objets qu'il est possible en même temps. Et il est à remarques qu'elle n'est aucunement requise pour la perfection de voir mieux, mais seulement pour la commodité de voir plus ; et même qu'il est impossible de voir plus d'un seul objet à la fois distinctement : en sorte que cette commodité,

d'en voir cependant confusément plusieurs autres, n'est principalement utile, qu'à fin de savoir vers quel côté il faudra, par après, tourner ses yeux pour regarder celui d'entre eux qu'on voudra mieux considérer. Et c'est à quoi la Nature a tellement pourvue qu'il est impossible à l'art d'y ajouter autre chose; même, tout au contraire, d'autant plus que par le moyen de quelques lunettes on augmente la grandeur des linéaments de l'image qui s'imprime au fond de l'œil, d'autant fait on qu'elle représente moins d'objets : à cause que l'espace qu'elle occupe ne peut aucunement être augmenté, si ce n'est peut être de fort peu en la renversant, ce que je juge être à rejette pour d'autres raisons. Mais il est aisé, si les objets sont accessibles, de mettre celui qu'on veut regarder en l'endroit où il peut être vu le plus distinctement au travers de la lunette ; et s'ils sont inaccessibles, de mettre la lunette sur une machine qui serve à la tourner facilement vers tel endroit déterminé qu'on voudra. Et ainsi il ne nous manquera rien de ce qui rend le plus cette quatrième condition considérable.

(25) Qu'on peut acquérir par exercice la facilité de voir les objets proches ou éloignés

Au reste, afin que je n'omette ici aucune chose, j'ai encore à vous avertir que les défauts de l'œil, qui consistent en ce qu'on ne peut assez changer la figure de l'humeur cristalline ou bien la grandeur de la prunelle, se peuvent peu à peu diminuer et corriger par l'usage : à cause que cette humeur cristalline et la peau qui contient cette prunelle, étant de muscles, leurs fonctions se facilitent et s'augmentent lorsqu'on les exerce, ainsi que celles de tous les autres muscles de notre corps. Et c'est ainsi que les chasseurs et les matelots, en s'exerçant à regarder des objets fort éloignés, et les graveurs ou autres artisans, qui font des ouvrages fort subtils, à en regarder de fort proches, acquièrent ordinairement la puissance de les voir plus distinctement que les autres hommes.

(26) D'où vient que les Gymnosophistes ont pu regarder le soleil sans gâter leur vue

Et c'est ainsi aussi que ces Indiens, qu'on dit avoir pu fixement regarder le soleil, sans que leur vue en fut offusquée, avaient sans doute auparavant, en regardant souvent des objets fort éclatants, accoutumé peu à peu leur prunelles à se retrécir plus que les nôtres. Mais ces choses appartiennent plutôt à la Médecine, dont la fin est de remédier aux défauts de la vue par la correction des organes naturels, que non pas à la Dioptrique, dont la fin n'est que de remédier aux mêmes défauts par l'application de quelques autres organes artificiels.

