



## Bases de l'optique clinique (2<sup>e</sup> partie)

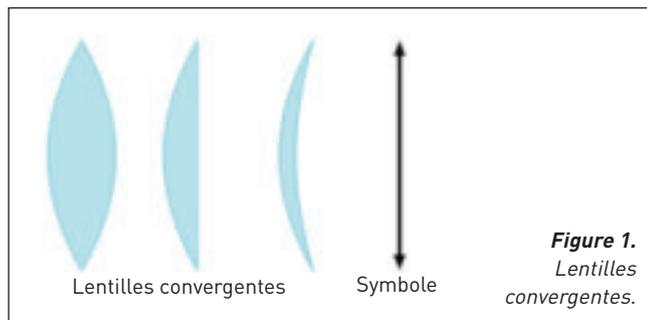
Jimmy Chammas, Julien Bullet

**N**ous reprenons dans cet article, et sous la forme volontairement synthétique pour servir éventuellement de fiches pour les révisions de la préparation à l'EBO, la question du comportement d'un système optique avec une interface sphérique. Abordée dans la première partie parue dans *Les Cahiers d'Ophthalmologie* n°209 (avril 2017), nous poursuivons ici par les lentilles convergentes et divergentes, le système afocal, la loi à connaître, le grandissement, le prisme et les aberrations optiques.

### Lentilles convergentes (figure 1)

Succession d'un dioptre sphérique et d'un dioptre plan ou de deux dioptres sphériques.

Lentille toujours plus épaisse au centre qu'en périphérie.



On utilise trois propriétés pour déterminer la formation d'un objet. Ces trois caractéristiques permettent de déterminer toute image produite par une lentille.

- Points nodaux : ils sont confondus au niveau du centre optique. Donc un rayon qui part de l'image ou de l'objet et qui passe par l'axe optique n'est pas dévié.
- Un rayon qui sort par le foyer objet, ressort parallèle à l'axe (figure 2A).
- Un rayon qui arrive parallèle à l'axe passe par le foyer image (figure 2B).

Cependant, selon l'endroit où se trouve l'objet par rapport au foyer, on n'a pas le même type d'image :

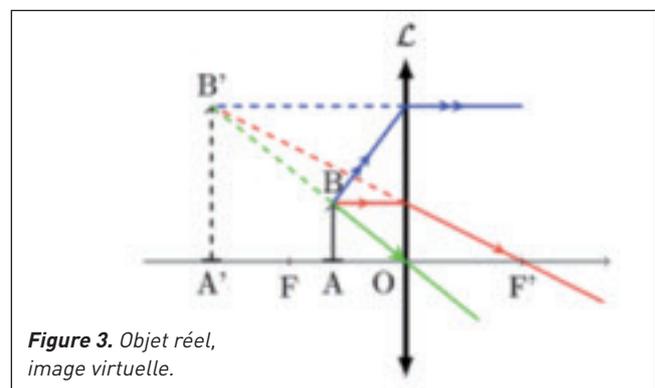
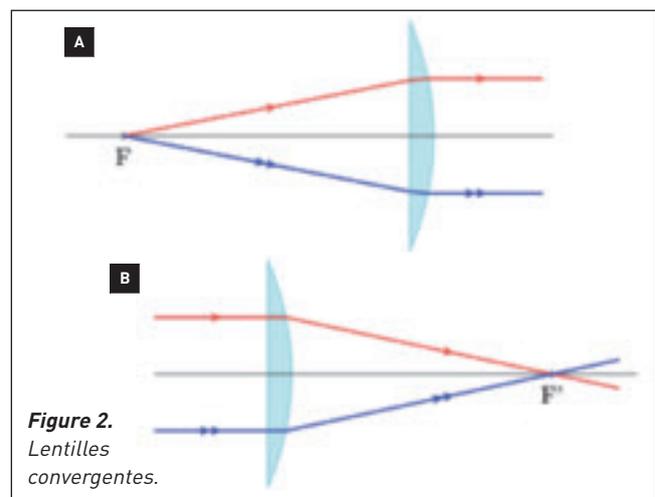
- Si l'objet AB se trouve entre le foyer objet et le centre optique, on obtient une image virtuelle. Cette situation peut présenter un intérêt lorsque l'on combine plusieurs lentilles (figure 3).

CHU Strasbourg

### Rappel. Sur les différents schémas,

$\mathcal{L}$  désigne la lentille, AB l'objet, A'B' l'image.

F le foyer objet, F' le foyer image, O le centre optique.



- À noter que si l'objet est avant le foyer objet, l'image est réelle mais inversée (figure 4).
- Il est possible de travailler avec un objet virtuel et d'obtenir une image réelle (figure 5).

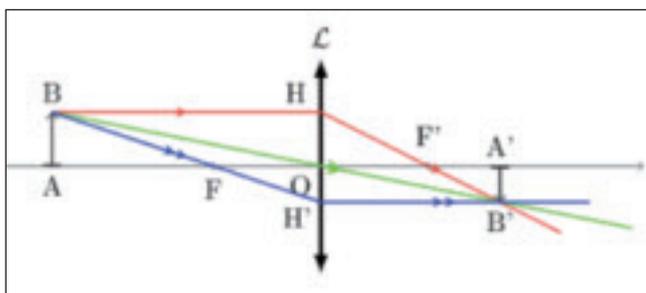


Figure 4. Objet réel, image réelle mais inversée.

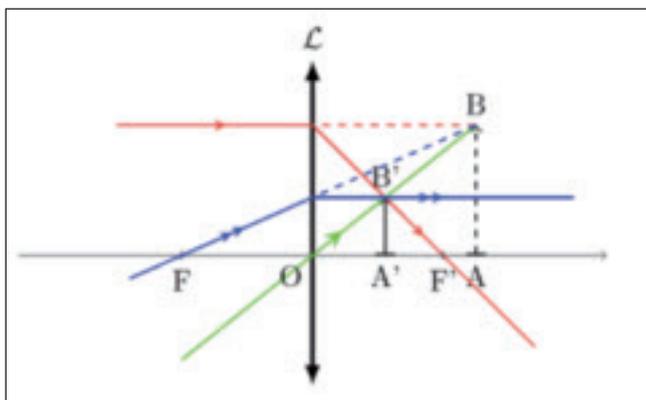


Figure 5. Objet virtuel, image réelle.

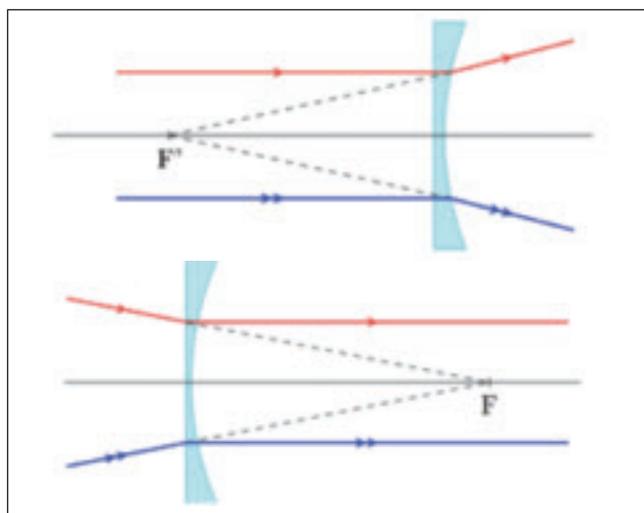


Figure 7. Les foyers image et objet sont virtuels,  $F$  et  $F'$  sont inversés.

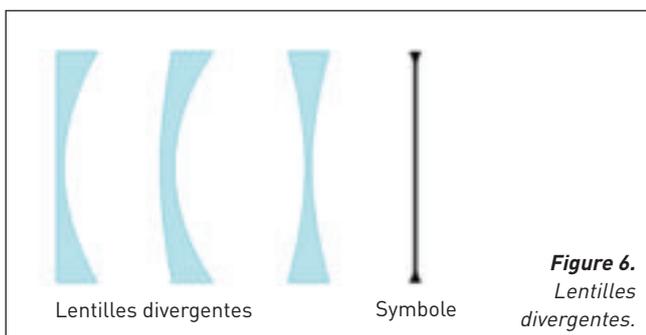
Exemples : Figure 8. A. Objet virtuel, image réelle, B. Objet réel, image virtuelle, C. Objet virtuel, image virtuelle.

En cas de combinaison de lentilles, il faut procéder progressivement et tracer l'image issue de l'objet, lentille par lentille.

### Lentilles divergentes (figure 6)

Lentille plus fine au centre qu'en périphérie.

Le symbole de la lentille divergente est présenté dans la figure 6.



Lentilles divergentes

Symbole

Figure 6. Lentilles divergentes.

Foyer image et foyer objet sont virtuels :  $F$  et  $F'$  sont inversés (figure 7).

Les règles restent les mêmes :

- Point nodal.
- Un rayon qui sort par le foyer objet, ressort parallèle à l'axe.
- Un rayon qui arrive parallèle à l'axe passe par le foyer image.

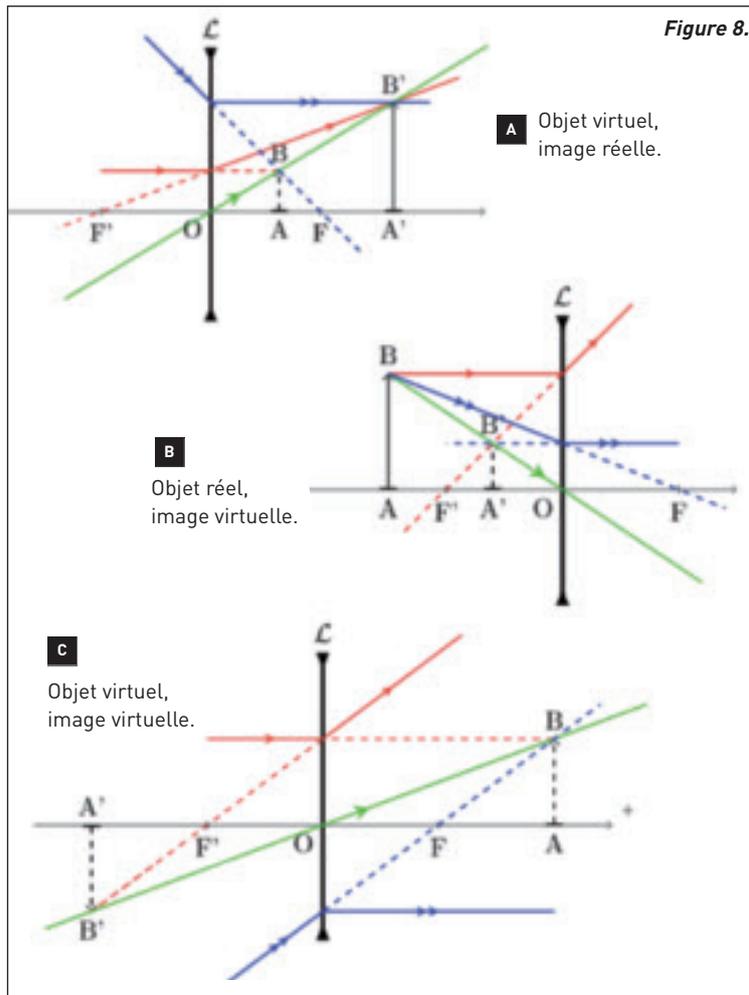


Figure 8.

A. Objet virtuel, image réelle.

B. Objet réel, image virtuelle.

C. Objet virtuel, image virtuelle.

**Système afocal = télescope (figure 11)**

Deux types : télescope de Galilée et télescope de Kepler.  
Ce sont des cas limites des associations de lentilles car les focales sont à l'infini.

**Le télescope de Galilée** utilise une lentille objective convergente.

Le foyer image de l'objectif est confondu avec le foyer objet de la lentille divergente.

Ce système change la largeur du faisceau et ne contient pas de focal.

Ainsi, un rayon qui arrive parallèle à l'axe, ressort parallèle.

**Le télescope de Kepler** fait croiser les rayons :

L'objectif est une lentille oculaire de type lentille convergente.

Le foyer image de la première lentille est de nouveau au foyer objet de la seconde lentille.

**Exemple clinique de télescope** : patient implanté après opération de cataracte que l'on équipe ensuite avec des lunettes. Cela aura une incidence sur le grandissement de l'image.

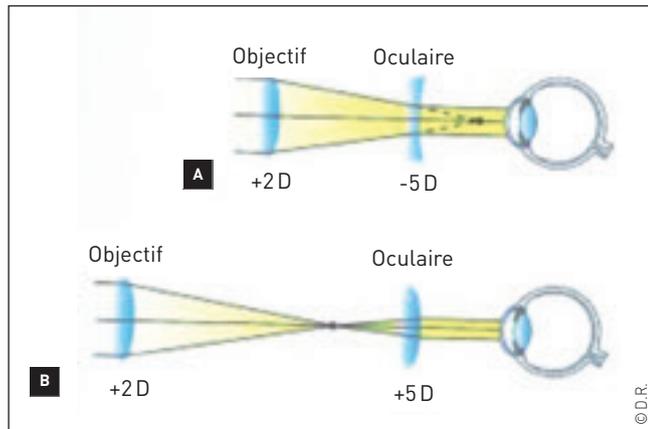


Figure 11. Système afocal. A. Télescope de Galilée. B. Télescope de Kepler.

**Loi à connaître : V = P + U**

On utilise un dioptre sphérique (pas une lentille). La lumière passe d'un milieu d'indice  $n$  à un milieu d'indice  $n'$  avec une interface sphérique.

On se place dans la condition d'approximation gaussienne : petits angles, avec des rayons près de l'axe ce qui permet, dans la loi de Snell-Descartes, d'approximer le sinus de l'angle par l'angle lui-même.

Soit la formule :

$$V = P + U \rightarrow n'/i = n/o + P$$

$U = n/o$  avec  $o = AO =$  distance objet.  $U$  est la vergence objet. Elle est homogène à des  $m^{-1}$  autrement dit des dioptries.

Dioptrie = inverse d'une distance.

$P =$  vergence de la surface.  $P$  ne dépend pas de l'endroit où l'on veut former l'image. Si on considère une surface sphérique,  $P =$  puissance réfractive de la surface  $= (n-n')/r$   
 $V = n'/i$  avec  $i = OA' =$  distance image.  $V$  est la vergence image, également homogène à des  $m^{-1}$ .

$n$  : indice de réfraction dans le premier milieu.

$n'$  : indice de réfraction du deuxième milieu.

**Dans le cas d'une lentille**, on a deux dioptries (face antérieure et face postérieure et épaisseur entre les deux) :

Soit la formule :

$$n/o + P_a + P_t + P_p = n'/i \rightarrow \text{formule de conjugaison des lentilles}$$

avec  $n/o =$  vergence objet,

$P_a =$  vergence de la face antérieure,

$P_t =$  vergence de transfert,

$P_p =$  vergence de la face postérieure.

On peut additionner les vergences.

Soit  $P_{\text{lentille}}$  la vergence de la lentille :

$$P_{\text{lentille}} = P_a + P_t + P_p$$

Ces formules permettent de calculer la distance à laquelle se trouve l'image. Ou à l'inverse elles permettent, avec une image, de retrouver la distance à laquelle se trouve l'objet.

**Grandissement**

Il est possible de calculer la taille des images formées grâce au théorème de Thalès.

On peut, avec la formule de vergence (figure 12), calculer le grandissement de l'image en se rappelant que  $o = AO$  et  $i = OA'$ .

Formules de grandissement (figure 12).

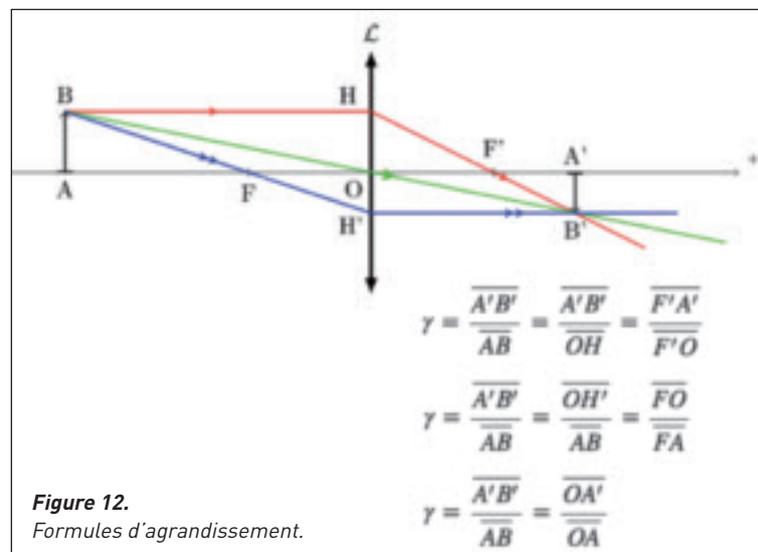


Figure 12. Formules d'agrandissement.

## Prisme

Certains systèmes optiques ne sont pas des lentilles.

Le prisme est un système avec une section triangulaire. Ainsi, selon l'endroit où pénètrent les rayons, ils traversent une épaisseur plus ou moins importante du prisme.

Ce système focalise et permet de faire dévier les rayons selon le même angle.

Les rayons sont dégagés vers la base du prisme. Mais une personne qui utilise un prisme aura l'impression que l'image est décalée vers le sommet.

Il y a 2 façons de faire un prisme :

- soit un prisme triangulaire unique standard,
- soit un prisme de Fresnel constitué de plusieurs petits prismes (système du press on).

Effet prismatique des lentilles : règle de Prentice

- Calcul de la déviation  $D$
- Formule  $\rightarrow D = h\Delta$ .
- Lorsque l'on fait passer un rayon décalé de l'axe d'une hauteur  $h$ , son image se retrouve décalée d'une hauteur  $h\Delta$  avec  $h$  exprimée en cm,  $\Delta$  en dioptrie prismatique et  $D$  en dioptrie de vergence.

Dioptrie prismatique : un prisme d'1 dioptrie décale l'image d'1 cm à 1 mètre.

On peut calculer l'effet prismatique d'un verre. Celui-ci influe sur la convergence.

## Aberrations optiques

Il faut en connaître au moins deux : l'aberration chromatique et l'aberration sphérique.

### Aberration chromatique

En théorie, tous les rayons, quelle que soit leur longueur d'onde, sont réfractés au même endroit. En réalité, ce n'est pas le cas, c'est l'aberration chromatique.

Cet effet est utilisé en clinique : la plupart du temps, lorsque le système est convergent, les rayons à longueur d'onde faible (bleu, violet), convergent avant les rayons à longueur d'onde élevée. Dans l'œil, il existe une dispersion chromatique liée à l'aberration chromatique. Entre la lumière verte et la lumière rouge, il y a entre 0,25 et 0,50 dioptrie d'écart : c'est ce que l'on utilise dans le test duochrome. Le vert converge avant le rouge.

### Aberration de sphéricité

En présence d'un dioptré sphérique, les rayons réfractés le plus loin de l'axe vont converger en avant des rayons qui sont réfractés plus proches de l'axe.

Approximation gaussienne : on considère que les rayons de faible incidence proches de l'axe convergent au même endroit : on néglige l'aberration de sphéricité.

Les verres de lunettes sont construits de telle sorte que

le chemin optique (le temps de trajet à travers la lentille) est plus faible en périphérie qu'au centre pour assurer une compensation du défaut de sphéricité.

La cornée a un certain degré d'asphéricité. (La cornée est le plus souvent prolatale)

Cela peut permettre de donner une certaine profondeur de champ. Ce phénomène est utilisé en chirurgie réfractive puisque le facteur d'asphéricité de la cornée peut être modifié.

### Polynômes de Zernike

Succession de fonctions polynomiales.

Ils font appel à la notion de front d'onde.

La théorie précédemment exposée considère une optique dite linéaire : un point donne un point. La convergence se déroule sans obstacle.

Dans l'optique réelle, il peut y avoir une déformation que l'on étudie à partir du front d'onde. L'aberrométrie étudie la déformation du front d'onde par le système optique.

Aberration usuelles :

Degré 0 : piston

Degré 1 : tilt décalage par rapport à l'axe

Degré 2 : astigmatisme, défocus myopie et hypermétropie

Degré 3 : coma et trefoil

Degré 4 : asphéricité

La somme des coefficients associés aux différents polynômes permet de reconstruire le front d'onde et donc de reconstruire le système optique.

On utilise ces propriétés en chirurgie réfractive avec les lasers dits personnalisés qui cherchent à corriger les aberrations optiques. On peut modifier la sphéricité : à partir du caractère prolatale de la cornée, on utilise le fait que, selon l'endroit où passent les rayons, la focalisation se fait de manière différenciée. Cela permet de gagner en profondeur de champ donc de compenser une partie de la presbytie.

### À retenir

- La notion d'indice de réfraction
- Les lois de l'optique
- La loi de Snell-Descartes
- Points cardinaux d'un système optique linéaire
- Savoir dessiner les images issues de lentilles convergentes et divergentes
- $U = P + V$  : relation de conjugaison des lentilles, addition des vergences
- Grandissement et formule de calcul

### Bibliographie

Basic and clinical science course (BCSC), Volume 3, Clinical Optics, de l'American Academy of Ophthalmology

Site du Dr Damien Gatinel : <https://www.gatinel.com>