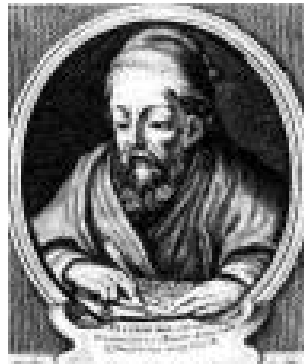


La lumière d'Euclide à Glauber

Une brève histoire des conceptions de la lumière

depuis Euclide
(300 av JC) ...



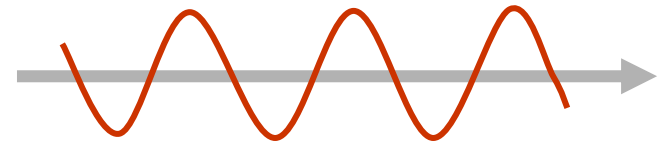
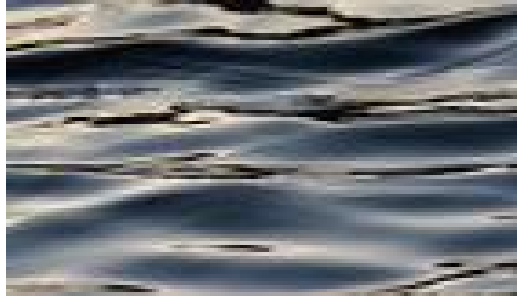
...jusqu'à Glauber
(prix Nobel 2005)

Qu'est-ce que la lumière ?

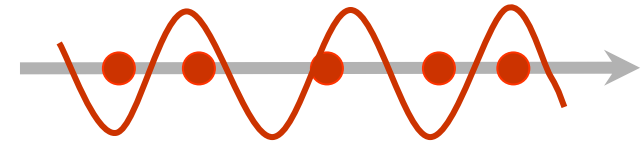
Un flot
de particules ?



Une onde ?



Les deux ?



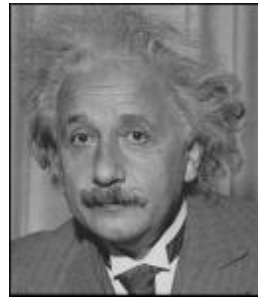
Autre chose ?





Première partie:

L'optique « classique » d'Euclide à Einstein



Deuxième partie :

L'optique « quantique » d'Einstein à Glauber



Première partie:
L'optique « classique »
D'Euclide à Einstein

1. Les débuts

1) l'ombre

Construction géométrique des ombres :



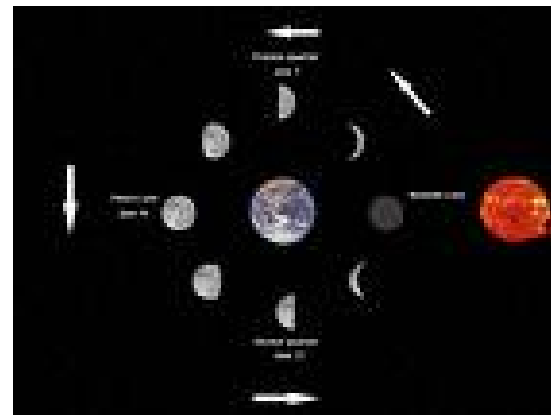
La lumière se propage en ligne droite
à partir des sources lumineuses

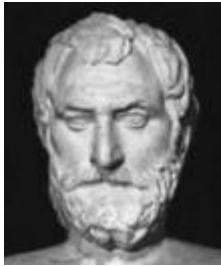
raisonnements géométriques possibles

Babylone -1000

Parménide -500

**Explication
des phases de la lune**

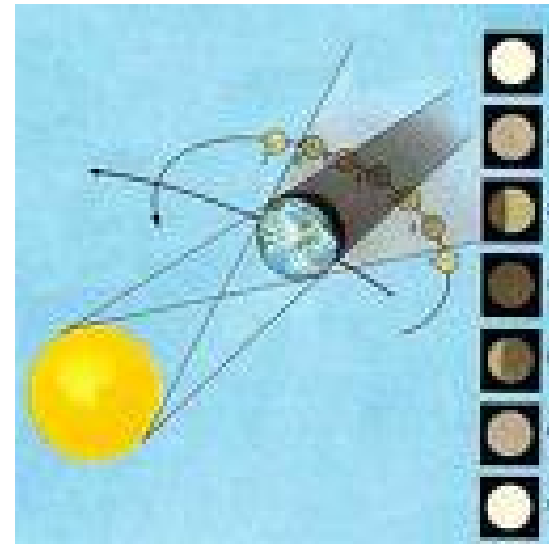




Babylone -1000

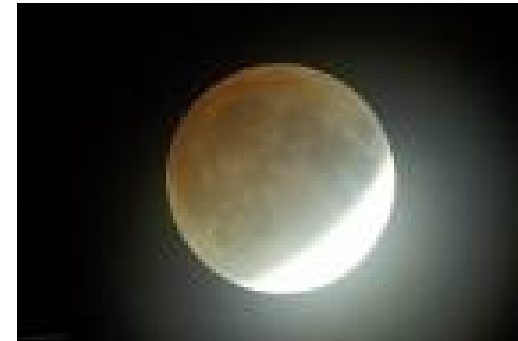
Thalès -600

**Explication
des éclipses de lune
et de soleil**



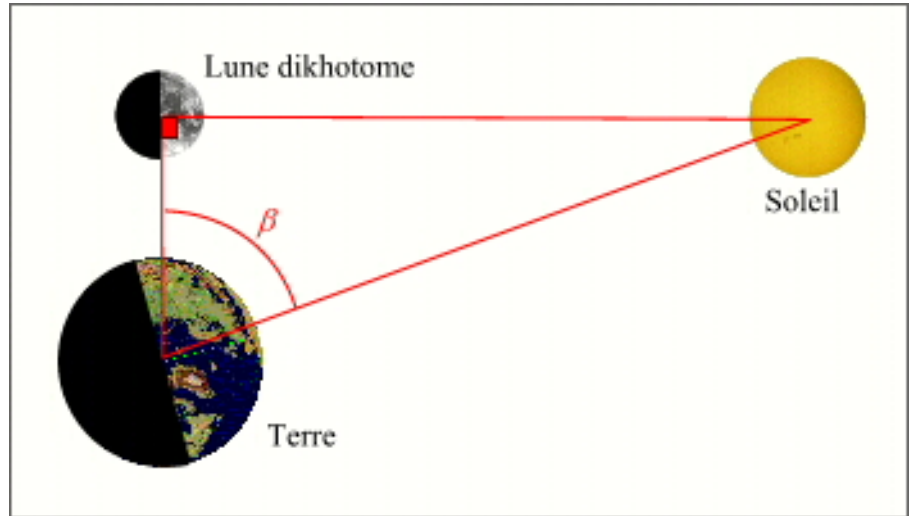
Aristote -350

L'ombre est un arc de cercle:
la terre est donc sphérique

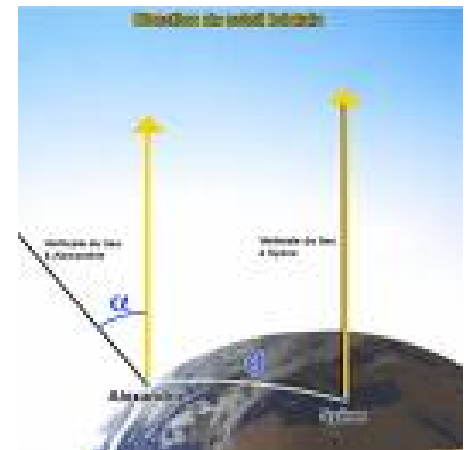




Aristarque -300
Evaluation
du rapport entre
les distances
terre soleil
et terre lune



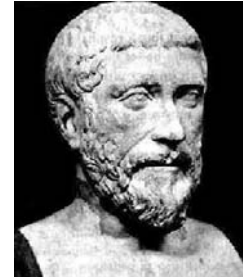
Eratosthène -200
Evaluation
du rayon de la terre



2) le rayon visuel

Pythagore (-600):

La lumière est quelque chose qui est émis par l'oeil



On « jette un coup d'œil », on « porte son regard sur... »

Démocrite (-400):

La lumière est « une impression dans l'air due à l'œil et à l'objet »



Aristote (-350):

La sensation visuelle « naît du mouvement excité par le corps sensible dans le milieu intermédiaire »



Première partie:
L'optique « classique »
D'Euclide à Einstein

1. Les débuts

2. Euclide et l'optique géométrique

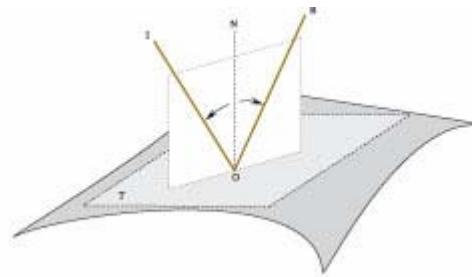


Euclide (-300):

- Inventeur du mot « optique »
- Introduit des postulats:

Dans l' « optique »:

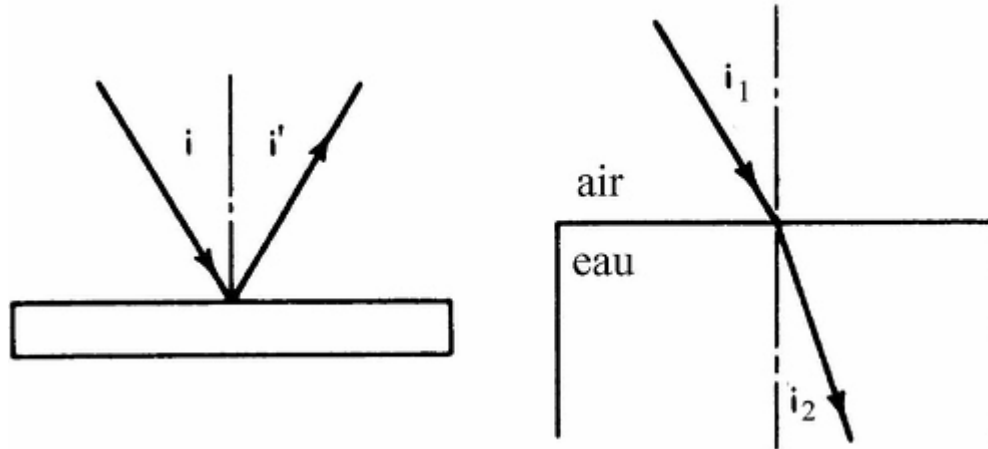
Introduit le **rayon lumineux**,
émis par l'oeil, qui est une ligne droite



Dans la « catoptrique »:

donne les lois de la réflexion sur un miroir
miroirs plans
miroirs concaves et convexes

Fondateur de **l'optique géométrique**



Ptolémée (-140):

- Continueur d'Euclide
- Connaît le phénomène de **réfraction** dans un milieu transparent
- Donne des tables de valeurs d'angle de réfraction en fonction de l'angle d'incidence dans l'eau

Continueurs : Héron, Leucippe, Lucrèce

Première partie:
L'optique « classique »
D'Euclide à Einstein

1. Les débuts
2. Euclide et l'optique géométrique
- 3. L'optique en Chine**

Optique développée dès la Chine antique

Mo Zi -468 -376

Ecole des « mohistes »



- Formation des ombres :
propagation linéaire des rayons à partir de sources différentes
- « **Camera obscura** » : chambre noire avec petit trou
- Réflexion sur miroir plan
- Réflexion sur un miroir concave ou convexe

plus pratique et observationnelle,
moins « géométrique » que l'optique d'Euclide et Ptolémée

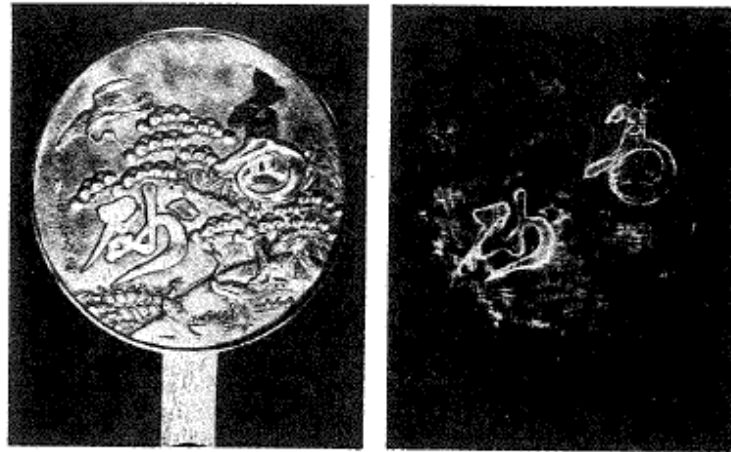


Fig. 291. A 'magic mirror' of Japanese provenance (from Dember, 1). Although the polished face (not here seen) appears to the eye perfectly smooth, the characters executed in relief on the back (left) are clearly visible in the reflection (right). They are read *Takazago*, the name of a *nô* play.

Exemple « **miroirs à lumière pénétrante** »

On voit sur la lumière réfléchie les caractères inscrits sur l'autre face

(expliqué par W. Bragg en 1932)

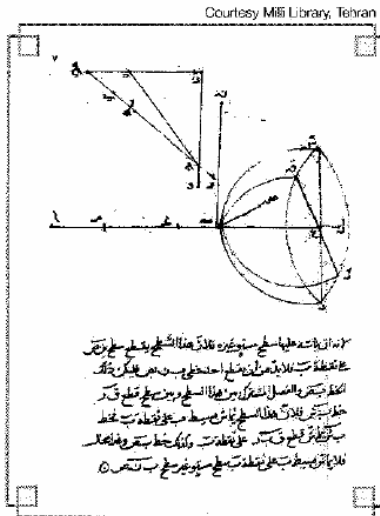
Première partie:
L'optique « classique »
D'Euclide à Einstein

1. Les débuts
2. Euclide et l'optique géométrique
3. L'optique en Chine
4. **Le Moyen-Age**

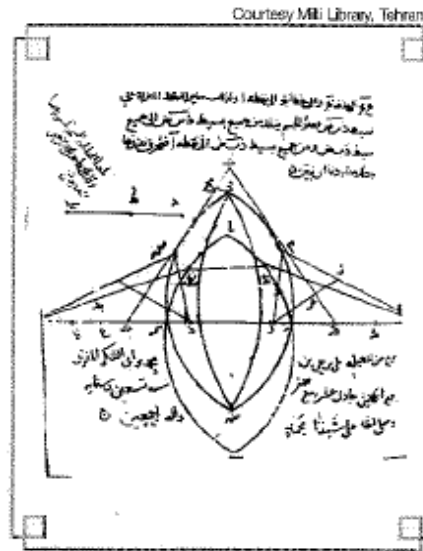
1) l'optique dans le monde musulman

-Ibn-Sahl (vers 980):

Donne la **loi des sinus** pour la réfraction, mais reste inconnu



Ibn Sahl's diagrams for refraction (see p. 9 in K.B. Wolf's *Geometric Optics on Phase Space*) and the plano-convex lens (see ISIS 81, 467) are reproduced from Ibn Sahl's book, *On the Burning Instruments*, written in 984 A.C.E.



Ibn Sahl's diagram for a biconvex hyperbolic lens (ISIS, 81) is reproduced from Ibn Sahl's book.

Ibn-al-Haitham, ou Alhazen (Le Caire 1000):
-Approche très « expérimentale »

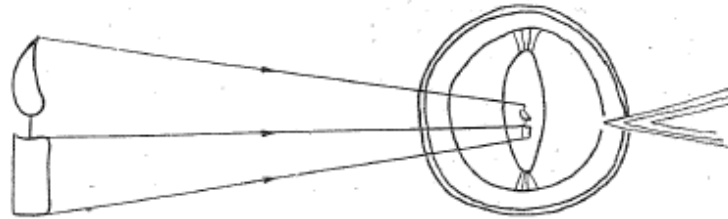
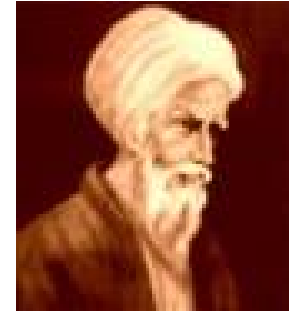
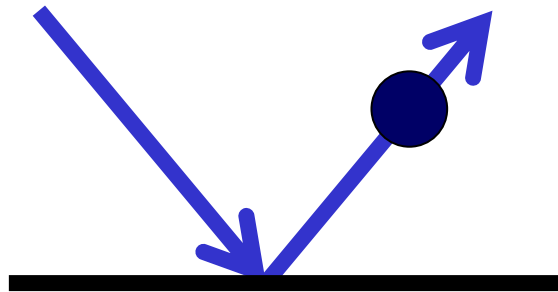


Figure 4

La vision se fait par des rayons venant de l'œil à l'objet



Lois de la réflexion :

la lumière est quelque chose qui est émis par l'objet,
comme une « **balle à l'extrémité d'une flèche** »

2) Un progrès technique décisif : les verres correcteurs

Effet grossissant des « lentilles de verre »
connu de puis longtemps
(Pline l'ancien 60)

Utilisé systématiquement
pour corriger la vue
en Toscane ou Vénétie
vers 1200



Phénomène considéré
comme « fallacieux »
et non scientifique
par les savants médiévaux

Première partie:
L'optique « classique »
D'Euclide à Einstein

1. Les débuts
2. Euclide et l'optique géométrique
3. L'optique en Chine
4. Le Moyen-Age
- 5. La Renaissance de l'optique**

G.B. Della Porta (Naples)

« Magia Naturalis » 1550 « illusions d'optique »

Utilisation des lentilles pour faire des images

« De refractione » 1593

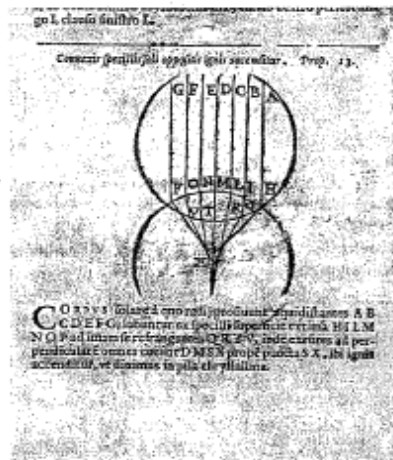


FIG. 11. — La lentille biconvexe dans le *De Refractione*.

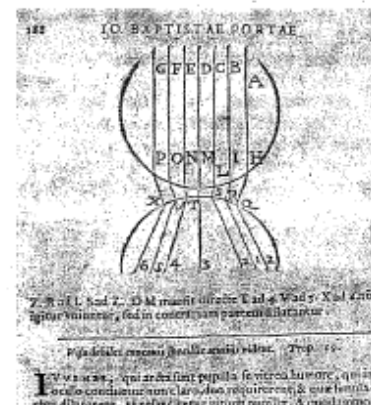


FIG. 10. — La lentille biconvexe dans le *De Refractione*.

J. Képler (Prague 1604)

Loi de la réfraction aux petits angles

Notion d'image virtuelle pour les miroirs



« dans la lumière, le mouvement se fait le long d'une droite, et ce qui se déplace est une sorte de surface »

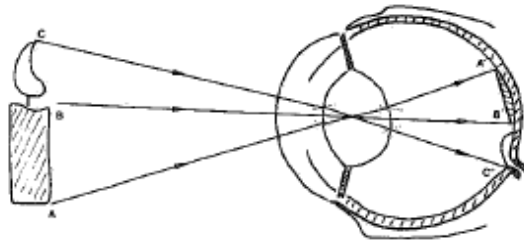


Figure 13

Dans l'œil, L'image se forme sur la rétine
Elle est inversée

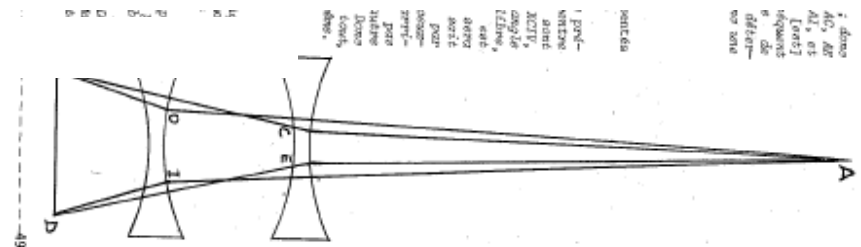
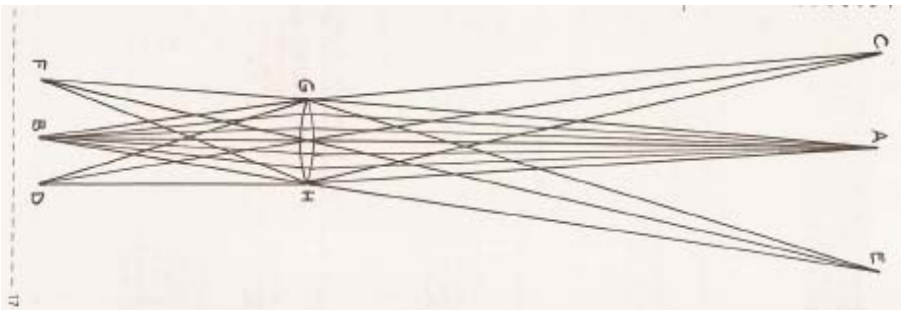
1) Un autre progrès technique : la lunette ou «télescope »

1590 : première lunette en Italie

1604 : lunettes commercialisées par lunettiers
hollandais (Middlebourg)

1609 : **Galilée** améliore l'instrument,
en envoie une à Kepler

1610 : Képler publie la « dioptrique »

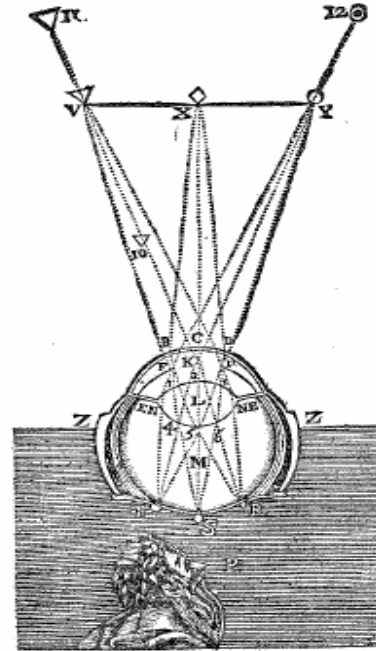
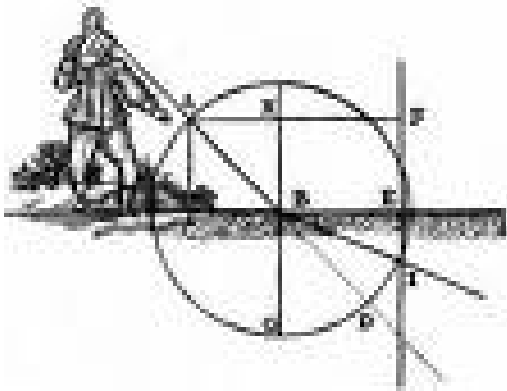


Première partie:
L'optique « classique »
D'Euclide à Einstein

1. Les débuts
2. Euclide et l'optique géométrique
3. L'optique en Chine
4. Le Moyen-Age
5. La Renaissance de l'optique
6. Le **XVII^{ème}** siècle de **Descartes** à **Grimaldi**

Lois des sinus : **Snell** (1625), ne publie pas

Descartes (1637)

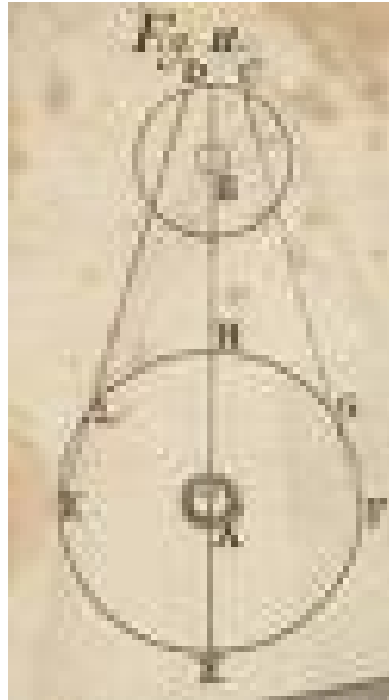
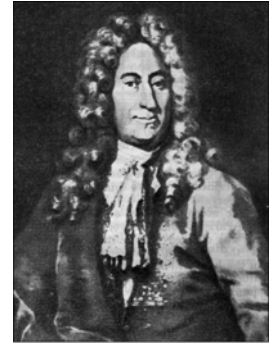


Fermat 1667: chemin suivi par la lumière
le plus rapide

Lois de l'optique géométrique et de la formation des images
dans les lentilles bien établie

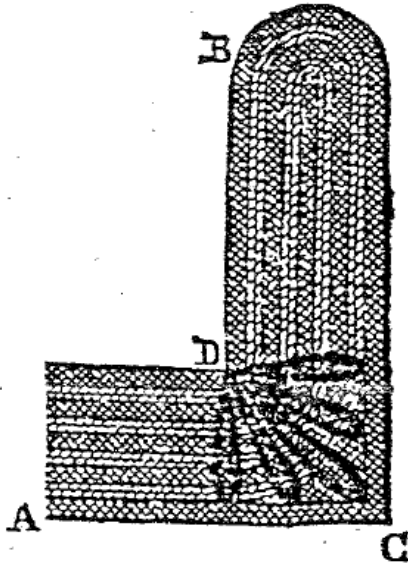
Römer (1675)

explique la variation de la période
des satellites de Jupiter par la
propagation à vitesse finie
de la lumière



Grimaldi (1665)

Découverte de la diffraction sur le bord des ombres



Franges de diffraction dans l'ombre d'un obstacle

Light Diffraction by a Razor Blade

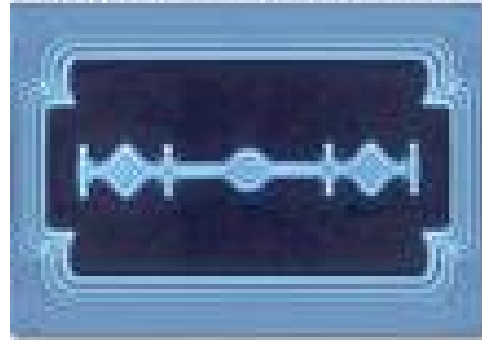


Figure 2



« Nous ne connaissons pas la nature de la lumière, et utiliser de grands mots sans beaucoup de signification est une imposture »

Hooke (1665)

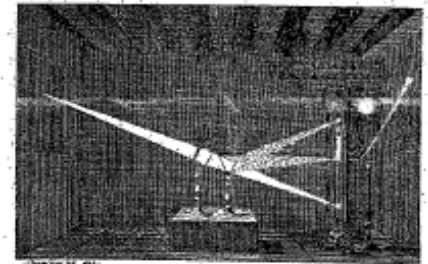
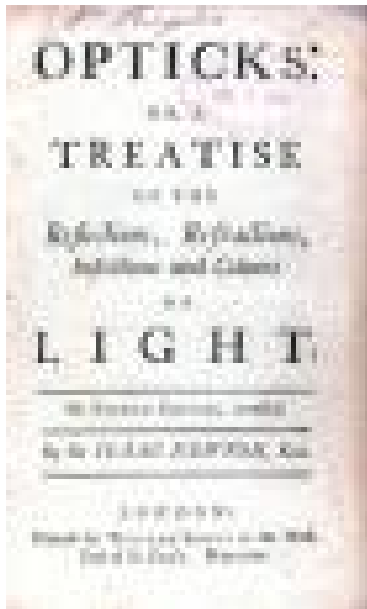
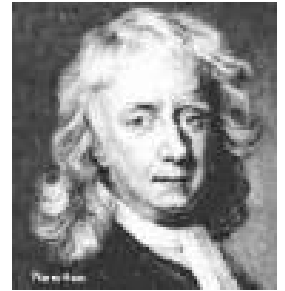
Etude des colorations des lames minces



Première partie:
L'optique « classique »
D'Euclide à Einstein

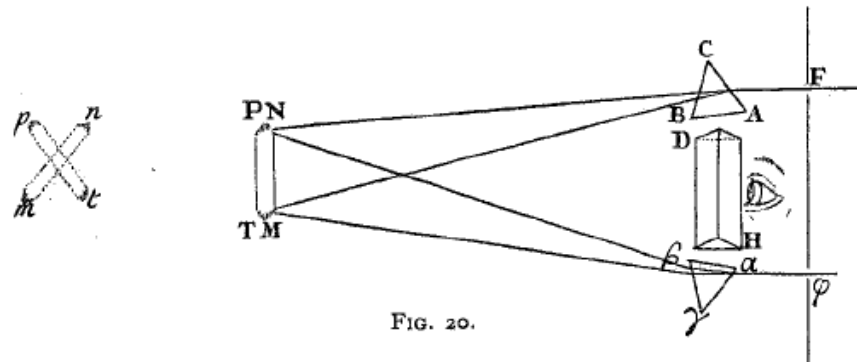
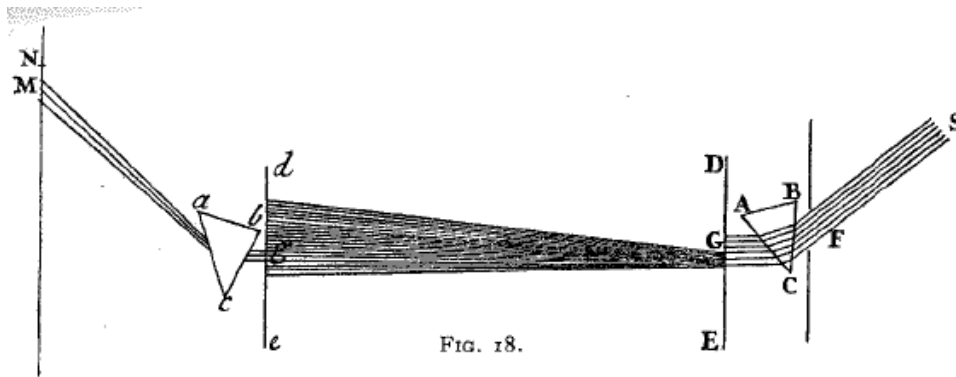
1. Les débuts
2. Euclide et l'optique géométrique
3. L'optique en Chine
4. Le Moyen-Age
5. La Renaissance de l'optique
6. Le XVII^{ème} siècle de Descartes à Grimaldi
- 7. Huygens et Newton**

Newton (1668, Opticks: 1704)

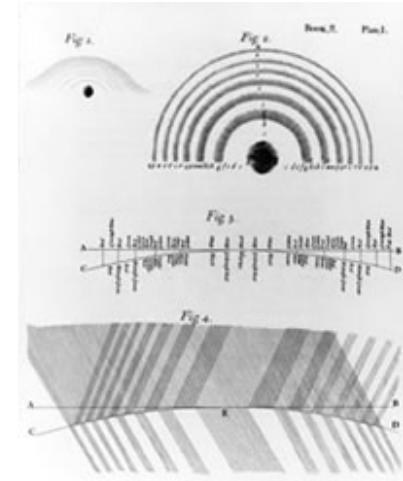


TRAITÉ
D'OPTIQUE,
SUR
LA LUMIÈRE
ET LES COULEURS.

Décompose la lumière solaire en composantes monochromatiques

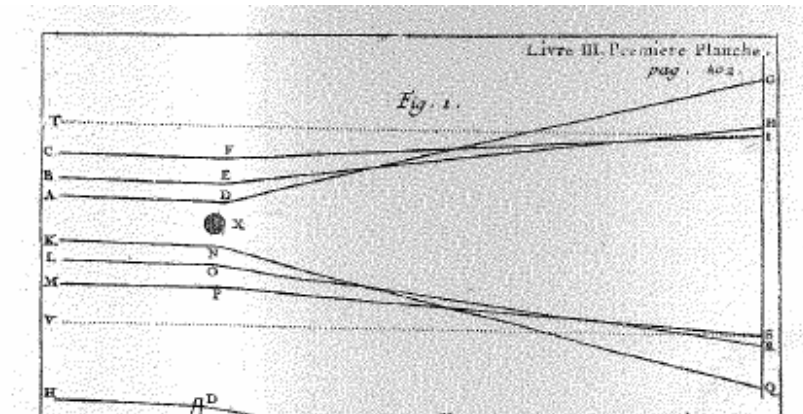


Décrit les
« anneaux de Newton »
Lié à une périodicité
de $0,285 \mu\text{m}$



Il existe « une disposition transitoire qui dans les progrès du rayon revient à intervalles égaux et fait que le rayon, à chaque retour de cette disposition, est transmis aisément à travers la surface réfringente »

Diffraction : due à l'attraction du bord des obstacles

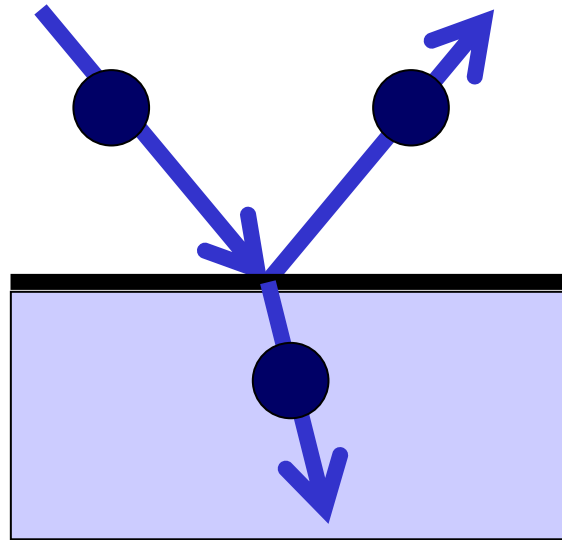


A la fin du livre, propose une **série de questions**:

Query 29:

« Are not the rays of light very small bodies emitted from shining substances ? »

Comment expliquer la réflexion partielle ?



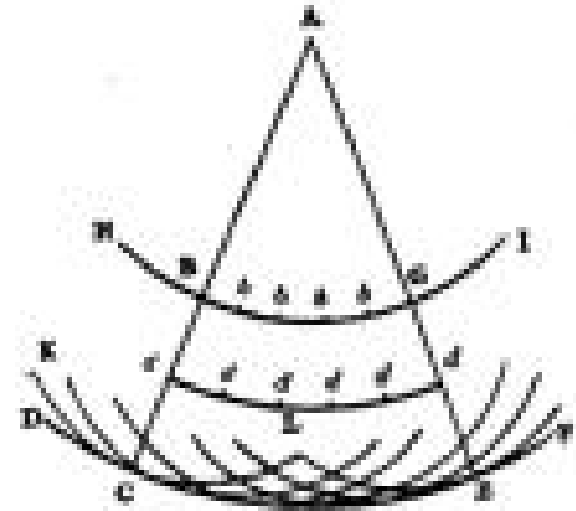
Certains « corpuscules » sont réfléchis,
d'autres sont transmis en fonction
de leur « disposition »

Huyghens (1678)

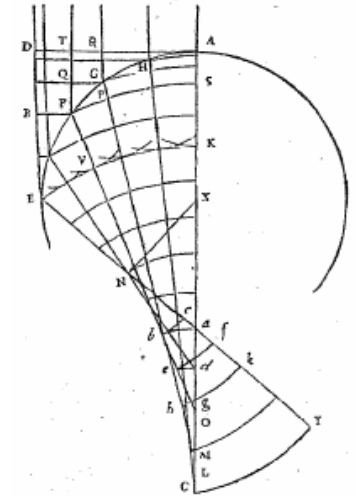
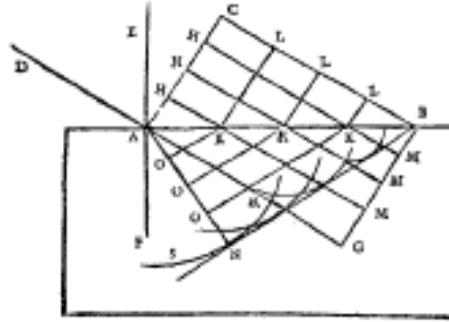
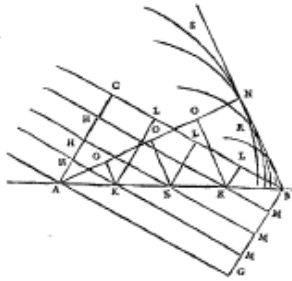
La lumière ne peut pas être formée de corpuscules, car deux rayons de lumière se croisant devraient se perturber



La lumière est une sorte d'ébranlement qui se propage en cercles à partir de la source, et qui est capable de se renforcer par addition



Explique les lois de la réflexion et de la réfraction



Possibilité de réflexion et de réfraction simultanée
Induite par les mouvements à la surface de séparation

Possibilité d'interférence constructive, pas destructive
Pas de notion de longueur d'onde

Première partie:
L'optique « classique »
D'Euclide à Einstein

1. Les débuts
2. Euclide et l'optique géométrique
3. L'optique en Chine
4. Le Moyen-Age
5. La Renaissance de l'optique
6. Le XVII^{ème} siècle de Descartes à Grimaldi
7. Huygens et Newton
8. **Le post Newtonisme**

Nouvelles observations :
Phosphorescence
polarisation par réflexion (**Malus**)



Outils mathématiques essentiels à la suite s'élaborent

L'hypothèse corpusculaire est généralement admise

Conséquences importantes de l'hypothèse corpusculaire
« pré-relativité » !

-déviation des rayons lumineux par étoile. **Soldner** (1804) trouve
La moitié de la valeur d'Einstein

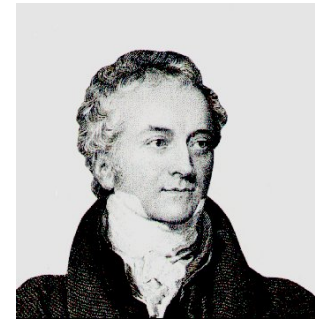
-existence d'objets d'où la lumière ne peut s'échapper
« trous noirs » (**Mitchell** 1784, **Laplace** 1796)



Première partie:
L'optique « classique »
D'Euclide à Einstein

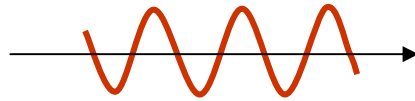
1. Les débuts
2. Euclide et l'optique géométrique
3. L'optique en Chine
4. Le Moyen-Age
5. La Renaissance de l'optique
6. Le XVII^{ème} siècle de Descartes à Grimaldi
7. Huygens et Newton
8. Le post Newtonisme
- 9. Young et Fresnel**

T. Young (1773-1829)



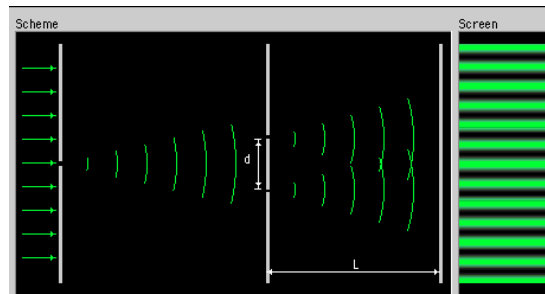
-thèse en acoustique, connaît les battements d'ondes sonores

« On the theory of light and colours » (1802)



notion d'**ondulation** (alternance de parties positives et négatives, longueur d'onde)

Interférences à deux ondes (trous et fentes d'Young)



de la lumière plus de la lumière peut donner de l'obscurité

Trouve $0,7\mu\text{m}$ pour la longueur d'onde du rouge, $0,4\mu\text{m}$ pour le violet

A. Fresnel (1788-1829)

1814-20 :

Expériences précises de diffraction

Théorie mathématique de la diffraction
et des interférences



Introduit $u = a \sin(2\pi(t - x/\lambda))$

« vitesse des molécules étherées »

Phénomènes de polarisation:

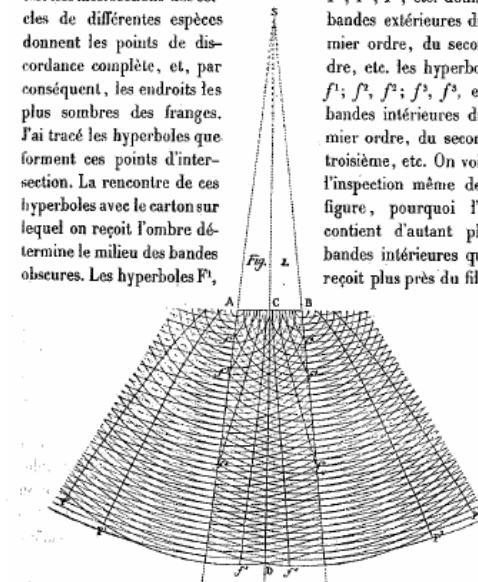
Intuition de Young

Explications détaillées de Fresnel

L'onde lumineuse est transversale
(1821)

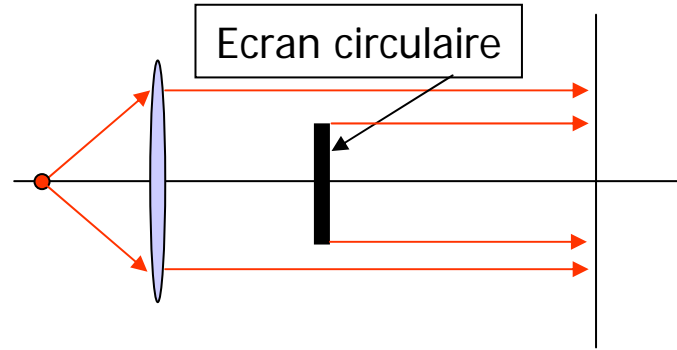
DEUXIÈME MÉMOIRE SUR LA DIFFRACTION. 95

S est le point radiex, A et B les extrémités du corps qui porte ombre. Des points S, A et B comme centres, j'ai décrit une suite de cercles, en augmentant toujours le rayon de la même quantité, que je suppose être égale à la longueur d'une demi-ondulation. Les cercles en lignes pleines représentent les nœuds condensés, par exemple, dans chaque système d'ondulation, et les cercles ponctués les nœuds dilatés. Les intersections des cercles de différentes espèces donnent les points de discordance complète, et, par conséquent, les endroits les plus sombres des franges. J'ai tracé les hyperboles que forment ces points d'intersection. La rencontre de ces hyperboles avec le carton sur lequel on reçoit l'ombre détermine le milieu des bandes obscures. Les hyperboles F^1 , F^2 , F^3 , etc. donnent les bandes extérieures du premier ordre, du second ordre, etc. les hyperboles f^1 , f^2 , f^3 , etc. les bandes intérieures du premier ordre, du second, du troisième, etc. On voit, par l'inspection même de cette figure, pourquoi l'ombre contient d'autant plus de bandes intérieures que l'on la reçoit plus près du fil.



La théorie ondulatoire se heurte à l'« ordre établi »

Objection de Poisson



Il doit exister
un point brillant
au centre de
l'ombre !?

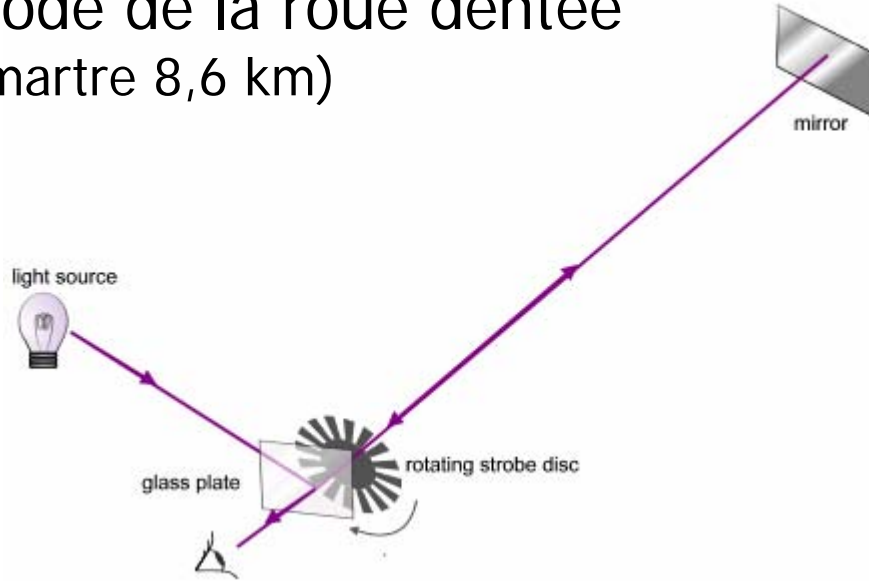


Il existe !!

La continuité de la vibration à la surface donne les coefficients de transmission et de réflexion (formules de Fresnel)

Mesures de la vitesse de la lumière

Fizeau 1849 méthode de la roue dentée
(mont Valérien Montmartre 8,6 km)



Foucault 1850 méthode du miroir tournant
(800 t/s : possible en labo)



27/4/1850: expérience
dans des tubes remplis d'eau

$$v = \frac{c}{n}$$

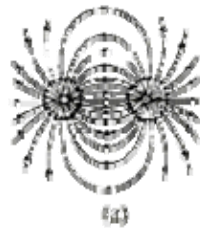
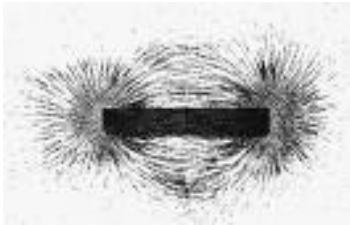
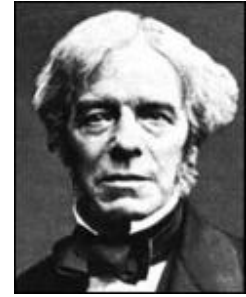
**La théorie ondulatoire
l'emporte !!**

Première partie:
L'optique « classique »
D'Euclide à Einstein

1. Les débuts
2. Euclide et l'optique géométrique
3. L'optique en Chine
4. Le Moyen-Age
5. La Renaissance de l'optique
6. Le XVII^{ème} siècle de Descartes à Grimaldi
7. Huygens et Newton
8. Le post Newtonisme
9. Young et Fresnel
- 10. Maxwell: la grande unification**

M. Faraday

En 1840, introduit le concept de champ électrique et magnétique (« lignes de forces ») existant en tout point de l'espace



Weber (1845)

mesures électrostatiques et magnétiques permettent de

calculer $C = 1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0}$

Il note que sa valeur est proche de celle de la lumière



Kirchoff (1850)

Propagation dans un fil : trouve des ondes se propageant à $3,1 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$; ne commente pas

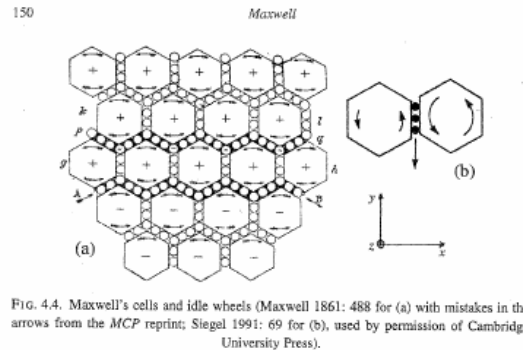


J.C. Maxwell (1831-1879)



1862: « On physical lines of forces »

obtient les équations des différents champs en s'appuyant sur des analogies mécaniques



1865 : « a dynamical theory of the electromagnetic field »
Phil. Trans. Roy. Soc. London p.497 tome 160 (1865)

Plus de « tourbillons »; trouve un système fermé de 20 équations

Cherche des solutions en ondes planes de ces équations:

Trouve des ondes transversales dont la vitesse est la constante C de Weber

$$C_{\text{Weber}} = 310\,740 \text{ kms}^{-1}$$

$$v = 298\,000 \text{ kms}^{-1} \text{ (Foucault)}$$

1862 « We can scarcely avoid the inference that light consists in the transverse undulations of the same medium which is the cause of electric and magnetic phenomena »

La lumière est une onde « électro-magnétique »

Les conceptions de Maxwell, complexes, pénètrent lentement

Poynting (1885)

Lois du transfert de l'énergie électromagnétique



Heaviside (1884)

« popularise » et simplifie les équations
Notations vectorielles



Hertz (1887)

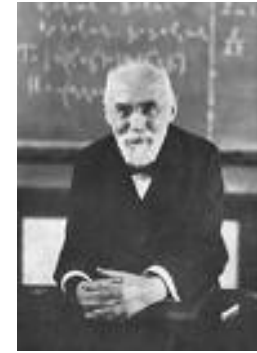
Production d'onde électromagnétiques
non-optiques



Première partie:
L'optique « classique »
D'Euclide à Einstein

1. Les débuts
2. Euclide et l'optique géométrique
3. L'optique en Chine
4. Le Moyen-Age
5. La Renaissance de l'optique
6. Le XVII^{ème} siècle de Descartes à Grimaldi
7. Huygens et Newton
8. Le post Newtonisme
9. Young et Fresnel
10. Maxwell: la grande unification
- 11. Lorentz : champs et particules**

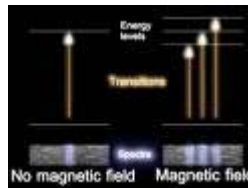
H.A. Lorentz (1853-1928)



Formule les « équations de Maxwell-Lorentz »
(avec « force de Lorentz »)
sous leur forme moderne

Théorie cohérente de l'interaction entre matière et lumière:
Ondes électromagnétiques interagissant avec charges
ponctuelles liées par une force harmonique

explique lois de l'absorption, l'indice des diélectriques,
les coefficients de réflexion et de transmission



Éclatement des raies spectrales dans un champ magnétique
(effet Zeeman, prix Nobel 1902)

Problèmes ouverts (entre autres):

Effet photoélectrique découvert par Hertz

Rayonnement thermique

Position des raie spectrales

Mais ceci est une autre histoire

... quantique

Bibliographie

- V. Ronchi *Histoire de la lumière* J. Gabay
- B. Maitte *La lumière* Point Sciences
- R. Casati *La découverte de l'ombre* Poche Essais
- J. Kepler *Dioptrique* A. Blanchard
- R. Descartes *La dioptrique* Folio Essais
- C. Huygens *Traité de la lumière* Dunod
- I. Newton *Traité d'Optique* Gauthier-Villard
- A. Fresnel *Œuvres complètes* J. Gabay
- A. Chappert *Histoire de l'optique ondulatoire* Belin
- O. Darrigol *Electrodynamics from Ampère to Einstein* Oxford
- H.A. Lorentz *The theory of electrons* J. Gabay

- C. Bracco, R. Charrier, L. Maurines, *Histoire des idées sur la lumière, de l'antiquité au début du XXème siècle*, Laurence.Maurines@didasco.u-psud.fr